



TUGAS AKHIR - TM141585

RE-DESAIN MODEL MEKANISME PLTGL DENGAN METODE PONTON SINGLE PENDULUM DAN ANALISA ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN

**HENDRAWAN AGUNG PRIMADANI
NRP. 2112 106 008**

**Dosen Pembimbing
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



TUGAS AKHIR - TM141585

**RE-DESAIN MODEL MEKANISME PLTGL DENGAN
METODE PONTON SINGLE PENDULUM DAN
ANALISA ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN**

**HENDRAWAN AGUNG PRIMADANI
NRP. 2112 106 008**

**Dosen Pembimbing
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TM141585

RE-DESIGN MODEL MECHANISM OF OCEAN WAVE POWER PLANT WITH PONTON-SINGLE PENDULUM METHOD AND ANALYSIS OF ELECTRICAL ENERGY GENERATED

HENDRAWAN AGUNG PRIMADANI
NRP. 2112 106 008

Academic Supervisor
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TM141585

RE-DESIGN MODEL MECHANISM OF OCEAN WAVE POWER PLANT WITH PONTON-SINGLE PENDULUM METHOD AND ANALYSIS OF ELECTRICAL ENERGY GENERATED

**HENDRAWAN AGUNG PRIMADANI
NRP. 2112 106 008**

**Academic Supervisor
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**

REDESAIN MODEL MEKANISME PLTGL DENGAN METODE PONTON-SINGLE PENDULUM DAN ANALISA ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Bidang Studi Sistem Dinamis dan Vibrasi

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya


Oleh :

HENDRAWAN AGUNG PRIMADANI

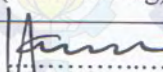
Nrp. 2112 106 008

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :


1. Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT
(NIP. 197004121997032003)


.....
(Pembimbing)

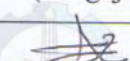
2. Dr. Eng Harus Laksana Guntur ST., MT, Eng
(NIP. 197505111999031001)


.....
(Penguji I)

3. Ir. J. Lubi
(NIP. 195106031976031002)


.....
(Penguji II)

4. Moch Solichin ST., MT
(NIP. 2100201405003)


.....
(Penguji III)

**SURABAYA
JANUARI 2015**

Re-Desain Model Mekanisme PLTGL Dengan Metode Ponton Single Pendulum Dan Analisa Energi Listrik Yang Dihasilkan

Nama Mahasiswa : Hendrawan Agung Primadani
NRP : 2112.106.008
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

ABSTRAK

Dalam menghadapi peningkatan kebutuhan energi pemerintah Indonesia memiliki strategi untuk mengembangkan energi terbarukan dengan pemanfaatan gelombang laut. Hal ini didasarkan pada keadaan geografis Indonesia sebagai negara kepulauan. Dengan pemanfaatan gelombang laut menjadi teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut maka dapat mewujudkan kesejahteraan bangsa Indonesia. Salah satu mekanisme *ocean wave energy harvester* tersebut yaitu metode-Ponton *Single* Pendulum. Dalam penelitian ini dilakukan optimalisasi dari penelitian Reza Dristya Joudha dengan melakukan desain ulang pada mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan metode Ponton-*Single* Pendulum (PSP), massa dan panjang lengan pendulum pada ponton. Pembahasan dititikberatkan pada studi eksperimen kestabilan desain ponton, terhadap amplitudo dan frekuensi gelombang air laut dan analisa energi listrik yang dihasilkan. Dimana torsi input yang dihasilkan massa dan panjang lengan pendulum untuk memutar generator dan menghasilkan listrik. Sedangkan frekuensi dan amplitudo gelombang air laut yang mengenai ponton akan menyebabkan gerakan naik turun (*pitching*). Analisa pada penelitian ini dilakukan dengan

memvariasikan frekuensi dan amplitudo gelombang air laut. Tugas akhir ini menghasilkan desain ponton yang optimal pada frekuensi gelombang 1,35 Hz dan amplitudo 35 mm. Energi listrik yang dihasilkan sebesar 6,17 mWatt dengan efisiensi mekanisme sebesar 0,398 %.

Kata Kunci: Ponton, PLTGL Ponton *Single* Pendulum, Desain Ponton, Frekuensi dan Amplitudo Gelombang Air Laut, Energi listrik.

Re-Design Model Mechanism Of Ocean Wave Power Plant With Ponton Single Pendulum Method And Analisis Of Elecetrical Energy Generated

Name : Hendrawan Agung Primadani
NRP : 2112.106.008
Major : Teknik Mesin FTI – ITS
Supervisor : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

ABSTRACT

In the deal with increasing energy needs of the Indonesian government has a strategy to develop renewable energy with the use of Ocean waves. It is based on the geographical situation Indonesian archipelago. With the utilization of ocean waves into technology Ocean Wave Power Plant, it can realize the welfare of Indonesian nation. One mechanism of ocean wave energy harvester is a method - Ponton Single Pendulum. In this research, the optimization of research Reza Dristya Joudha the redesign of the mechanism Ocean Wave Power Plant (OWPP) with methods Ponton - Single Pendulum (PSP), and the mass of the pendulum arm length on the pontoon. The discussion focused on the experimental study of the stability of the pontoon design, to the amplitude and frequency of Ocean waves and analysis of electrical energy generated. Where the input torque generated mass and length of the pendulum arm to turn a generator and produce electricity . While the frequency and amplitude of the Ocean waves on the pontoon will cause the movement up and down (pitching). The analysis in this study carried out by varying the frequency and amplitude of the Ocean wave. This final project resulted in the design of optimal pontoon on the wave frequency of 1.35 Hz and

amplitude of 35 mm. The electrical energy generated by 6.17 mWatt with 0.398 % efficiency mechanism.

Keywords : Ponton, OWPP Ponton Single Pendulum, Design Ponton, Frequency and Amplitude Waves Ocean, electric energy.

KATA PENGANTAR

Segala Kemuliaan hanya bagi Allah, oleh karena anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung baik secara moral maupun material dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan saran, motivasi, dan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis. Terima kasih atas kesabarannya selama membimbing penulis.
2. Ibunda tercinta Retnowati dan Ayahanda tercinta Puspo Saptono yang senantiasa memberikan dorongan semangat dan moral bagi penulis untuk terus berusaha dan semangat menuntut ilmu semoga Allah selalu memberikan anugerah-Nya.
3. Bapak Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng, Ir. J. Lubi, dan Moch Solichin, ST., MT selaku dosen penguji proposal tugas akhir dan tugas akhir penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
4. Bapak Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. PhD selaku Dosen wali penulis, terima kasih atas kebaikan, perhatian, dan saran-saran yang telah bapak berikan selama ini.
5. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng. PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis untuk segera menyelesaikan studinya.
6. Seluruh Dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin ITS.

7. Kembaranku Hermawan Agung yang telah memberikan semangat yang luar biasa dan kerjasamanya dalam mengerjakan tugas akhir ini.
8. Adiku Ririn Aprilia dan kakakku Septina Puspitasari yang telah memberikan semangat selama mengerjakan tugas akhir ini.
9. Dina Purnamasari dan Faihana Halwa Hikari serta rekan-rekan seperjuangan yang sering membantu dan memberi semangat penulis selama mengerjakan tugas akhir ini.
10. Keluarga besar penulis yang senantiasa memberikan doa dan dukungannya kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Rekan – rekan tim Ocean Wave Energy Andromeda, Arif, Doni, Wawan, Deni, Jemy dan Santoso yang sama – sama berjuang dan saling bahu membahu menyelesaikan Tugas akhir ini.
12. Rekan - rekan lintas jalur Teknik Mesin ITS angkatan tahun 2012 Genap, yang senantiasa memberikan semangat dan bantuan ketika penulis membutuhkan, terima kasih atas bantuannya dan mari kita jaga persahabatan dan persaudaraan yang telah berjalan.
13. Teman-teman lab. Sistem Dinamis dan Vibrasi terima kasih atas doa dan dukungannya.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan berguna bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.1.1 PLTGL-Sistem Ponton <i>Single</i> Pendulum oleh Zamrisyaf	5
2.1.1 PLTGL oleh Reza Dristya Joudha dan Putu Risti Nirmalasari	6
2.2. Dasar Teori	8
2.2.1 Gelombang Air Laut	8
2.2.2 Titik-Titik Penting Dalam Benda Apung	11
2.2.3 Stabilitas	14
2.2.4 Gerakan Benda Apung	19
2.2.5 <i>Gearbox</i>	21
2.2.6 Generator	21
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1. Tahapan Penelitian	25
3.1.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	25
3.1.2 Penjelasan <i>Flowchart</i> Penelitian	27
3.2. Rancangan Mekanisme	30
3.2.1 Rancangan Teoritis	30

3.3.	Pengujian	41
3.3.1	Peralatan Pengujian.....	41
3.3.2	<i>Flowchart</i> Pengujian.....	44
3.3.3	Penjelasan <i>Flowchart</i> Pengujian.....	45
3.3.4	Lembar Data Pengujian	46
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN	49
4.1.	Analisa Teoritis	49
4.1.1	Contoh Perhitungan	50
4.1.2	Pengaruh Ketinggian <i>Stroke</i> terhadap Daya Gelombang Air yang Dihasilkan	51
4.1.3	Pengaruh Frekuensi Inverter terhadap Daya Gelombang Air yang Dihasilkan	53
4.2.	Analisa Eksperimen	54
4.2.1	Pengolahan Data	54
4.2.2	Pengaruh Ketinggian <i>Stroke</i> terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan	56
4.2.3	Pengaruh Frekuensi Inverter terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan	58
4.2.4	Pengaruh Eksitasi Sudut Awal Pendulum terhadap Respon Energi Listrik yang Dihasilkan.....	61
4.3.	Pembahasan	62
4.3.1	Pengaruh Ketinggian <i>Stroke</i> terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan	62
4.3.2	Pengaruh Frekuensi Inverter terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan	65
4.3.3	Pengaruh Eksitasi Sudut Awal terhadap Respon Energi Listrik yang Dihasilkan.....	68
4.4.	Aplikasi PLTGL metode Ponton <i>Single</i> Pendulum	69
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1.	Kesimpulan	71
5.2.	Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	73	
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data Hasil percobaan PLTGL-SSP Reza Dristya Joudha	8
Tabel 3.1	Spesifikasi motor DC	32
Tabel 3.2	Data Hasil pengujian	38
Tabel 4.1	Spesifikasi amplitudo yang dihasilkan pembangkit gelombang air	50
Tabel 4.2	Data hasil perhitungan daya gelombang air dengan variasi ketinggian <i>stroke</i>	52
Tabel 4.3	Data hasil perhitungan daya gelombang air dengan variasi frekuensi inverter	53
Tabel 4.4	Data daya yang dihasilkan variasi ketinggian <i>stroke</i>	60
Tabel 4.5	Data daya yang dihasilkan dengan variasi frekuensi inverter	65
Tabel 4.6	Hasil daya yang dihasilkan antara skala laboratorium dan skala riil.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi PLTGL-SB Zamrisyaf SY	6
Gambar 2.2	PLTGL oleh Reza Dristya Joudha.....	7
Gambar 2.3	Gelombang Air Laut.....	9
Gambar 2.4	Benda mengapung terkena gerak naik turun air laut	9
Gambar 2.5	Ilustrasi titik berat dan titik apung.....	13
Gambar 2.6	Letak titik – titik metrasentris kapal.....	13
Gambar 2.7	Benda mengapung seimbang	14
Gambar 2.8	Benda Stabil	15
Gambar 2.9	Benda Keseimbangan indifferen	15
Gambar 2.10	Benda Keseimbangan Labil	16
Gambar 2.11	Ponton dengan ukuran tinggi 2 meter, panjang jari-jari dalam segienamdan variasi kemiringan Lambung.....	18
Gambar 2.12	Ilustrasi enam pergerakan bebas ponton	20
Gambar 2.13	Kumparan berputar Didalam suatu medan Magnet Pada Generator	22
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian	26
Gambar 3.2	Model Sederhana Ponton <i>Single</i> Pendulum	28
Gambar 3.3	Bagian-bagian Model Mekanisme PLTGL Ponton <i>Single</i> Pendulum.....	30
Gambar 3.4	Ponton	31
Gambar 3.5	Ilustrasi dari Koefisien blok	32
Gambar 3.6	Titik-titik dan arah gaya yang terjadi saat ponton tanpa beban pendulum dan tanpa dipengaruhi gaya gelombang.....	33
Gambar 3.7	Analisa gaya pada ponton	35
Gambar 3.8	Free body diagram ponton dan pendulum pada kesimbangan dinamis	37
Gambar 3.9	Sketsa lengan pendulum PLTGL-PSP.....	38
Gambar 3.10	Sketsa massa pendulum PLTGL-PSP	38
Gambar 3.11	Sketsa dari poros pada PLTGL-PSP.....	39

Gambar 3.12	Sketsa roda sketsa roda gigi pembalik pada PLTGL-PSP.....	40
Gambar 3.13	Generator pada PLTGL-PSP.....	41
Gambar 3.14	Kolam Simulator Gelombang Laut....	42
Gambar 3.15	Model Mekanisme PLTGL Ponton <i>Single</i> Pendulum.....	43
Gambar 3.16	<i>Digital Storage Oscilloscope</i>	43
Gambar 3.17	<i>Flowchart</i> Pengujian....	45
Gambar 4.1	Grafik ketinggian <i>stroke</i> vs daya gelombang air.....	52
Gambar 4.2	Grafik frekuensi inverter vs daya gelombang air....	54
Gambar 4.3	Contoh grafik pada <i>Oscilloscope</i> dengan variasi ketinggian <i>stroke</i> pembangkit gelombang pada saat 175 mm....	55
Gambar 4.4	Voltase bangkitan pada saat frekuensi inverter 12 Hz dengan variasi ketinggian <i>stroke</i> 125 mm, 150 mm, dan 175 mm.	56
Gambar 4.5	Voltase bangkitan pada saat frekuensi inverter 13,5 Hz dengan variasi ketinggian <i>stroke</i> 125 mm, 150 mm, dan 175 mm.....	57
Gambar 4.6	Voltase bangkitan pada saat frekuensi inverter 15 Hz dengan variasi ketinggian <i>stroke</i> 125 mm, 150 mm, dan 175 mm....	58
Gambar 4.7	Voltase bangkitan pada ketinggian <i>stroke</i> 125 mm dengan variasi frekuensi inverter 12 Hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz.....	59
Gambar 4.8	Voltase bangkitan pada ketinggian <i>stroke</i> 150 mm dengan variasi frekuensi inverter 12 Hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz.....	60
Gambar 4.9	Voltase bangkitan pada ketinggian <i>stroke</i> 175 mm dengan variasi frekuensi inverter 12 Hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz.....	61

Gambar 4.10	Voltase bangkitan pada ketinggian <i>stroke</i> 175 mm dan frekuensi inverter 12 Hz dengan variasi sudut awal 270°, 315 °, dan 360°.....	62
Gambar 4.11	Daya eksperimen dengan variasi ketinggian <i>stroke</i> 125 mm, 150 mm dan 175 mm.....	63
Gambar 4.12	Effisiensi mekanisme dengan variasi ketinggian <i>stroke</i> 125 mm, 150 mm dan 175 mm	64
Gambar 4.13	Daya bangkitan yang dihasilkan secara eksperimen pada variasi frekuensi inverter 12 hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz... ..	66
Gambar 4.14	Effisiensi mekanisme dengan variasi frekuensi inverter 12 hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz... ..	67
Gambar 4.15	Daya bangkitan yang dihasilkan secara eksperimen pada variasi sudut awal pendulum 270°, 315 °, dan 360°.	68
Gambar 4.15	Voltase bangkitan yang dihasilkan secara eksperimen pada variasi sudut awal pendulum 270°, 315 °, dan 360°.	68



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring bertambahnya zaman dengan peningkatan populasi maka kebutuhan energi semakin meningkat. Untuk menghadapi kebutuhan energi pemerintah Indonesia memiliki strategi untuk mengembangkan energi terbarukan. Hal ini didasarkan pada keadaan geografis Indonesia sebagai negara kepulauan, dimana terdapat 18,306 pulau dengan garis pantai 95,181 kilometer. Sehingga hampir 2/3 negara Indonesia adalah lautan. Maka pengembangan energi laut memiliki potensi yang besar.

Berdasarkan pengesahan pada tahun 2011 potensi teoritis energi potensial dari gelombang laut (*wave energy*) sebesar 510.000 MW, untuk energi pasang surut (*tidal power*) sebesar 160.000 MW, sedangkan dari energi panas laut (*ocean thermal energy*) sebesar 57.000 MW. Dari ketiga potensi energi laut, dapat dilihat bahwa energi gelombang laut (*wave energy*) merupakan sumber energi paling dominan, sehingga teknologi energi baru khususnya dari pemanfaatan dari gelombang laut (*wave energy*) perlu dikembangkan.

Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut - Sistem Pendulum salah satunya dikembangkan oleh Bapak Zamrisyaf SY dari Badan Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) bekerjasama dalam Pengabdian Masyarakat Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2010. Penelitian ini menggunakan ponton sebagai landasan Bergeraknya sebuah pendulum. Energi gelombang laut mengakibatkan pendulum berputar dan menimbulkan energi listrik. Hal serupa juga diteliti oleh Reza dan Putu Risti tentang pembangkit listrik – sistem single pendulum dengan menggunakan mekanisme ponton *single* pendulum, yang



dihubungkan dengan generator dengan perantara gearbox sebagai pengatur ratio putaran. Dari kedua penelitian tersebut maka perlu dilakukan penelitian untuk mengoptimalkan energi listrik dengan mendesain ulang model mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) - Ponton *Single* Pendulum (PSP).

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka diperlukan penelitian lebih lanjut tentang mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan tipe ponton dalam skala laboratorium. Pengaruh gerakan ponton akan menyebabkan gerakan pada *single* pendulum. Gerakan pendulum ini dipengaruhi oleh besar sudut elevasi pendulum. Bentuk gerakan air laut yang berupa gelombang sinusoidal menyebabkan gerakan *single* pendulum menjadi bolak – balik , sehingga diperlukan mekanisme penyearah putaran untuk menyearahkan putaran supaya dapat menjadi inputan secara kontinyu ke generator. Karena gerakan yang dihasilkan pendulum sangat kecil maka diperlukan mekanisme perbandingan putaran (*gearbox*). Dari uraian tersebut di atas, maka permasalahan pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang ponton yang optimal dalam mengkonversi gelombang laut menjadi energi listrik.
2. Bagaimana karakteristik energi listrik yang dihasilkan dengan variasi frekuensi dan amplitudo gelombang.
3. Bagaimana efisiensi model mekanisme PLTGL-PSP yang dibangun dengan variasi frekuensi dan amplitudo gelombang.
4. Bagaimana pengaruh sudut awal pendulum terhadap energi listrik yang dihasilkan oleh model mekanisme PLTGL-PSP.

1.3 Batasan Masalah

Untuk analisa di atas dibutuhkan batasan masalah yang akan diambil sebagai berikut:

1. Sistem ponton dan pendulum merupakan sistem dengan *single degree of freedom*.



2. Amplitudo gelombang air dibuat dalam tiga variasi.
3. Frekuensi gelombang air dibuat dalam tiga variasi.
4. Seluruh massa yang bergerak dianggap kaku, sehingga defleksi massa akibat elastisitas diabaikan karena sangat kecil.
5. Pengaruh gesekan torsional pada pendulum diabaikan.
6. Gerakan gelombang terhadap ponton dari satu arah saja.
7. Gerakan yang memutar pendulum disebabkan oleh gelombang air pada simulator kolam gelombang air laut.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah prototipe dari:

1. Untuk mendapatkan Ponton yang stabil dalam mengkonversikan gelombang air menjadi energi listrik.
2. Untuk mendapatkan energi listrik yang dihasilkan dengan variasi frekuensi dan amplitudo.
3. Untuk mendapatkan efisiensi optimum yang dihasilkan model mekanisme PLTGL-PSP.
4. Untuk mendapatkan pengaruh sudut awal pendulum terhadap energi listrik yang dihasilkan oleh PLTGL-PSP.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terhadap pengembangan bidang ilmu dan teknologi, penelitian ini dapat menyempurnakan penelitian – penelitian lain mengenai PLTGL – dengan tipe ponton yang sudah ada.
2. Terhadap masyarakat, penelitian ini menyediakan sumber energi terbarukan.
3. Terhadap peneliti, penelitian ini menyediakan data hubungan antara frekuensi dan amplitudo gelombang air terhadap listrik yang dihasilkan pada alat PLTGL metode Ponton *Single* Pendulum.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1 PLTGL-Sistem Ponton *Single* Pendulum oleh Zamrisyaf^[1]

Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut-Sistem Bandulan (PLTGL-SB) adalah salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan gelombang laut sebagai sumber energinya. Ini berdasarkan penelitian Zamrisyaf, pegawai pusat penelitian dan pengembangan Perusahaan Listrik Negara (PLN) sejak tahun 2002. Temuan Zamrisyaf telah mendapatkan penyempurnaan lewat kerjasama dengan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, diantaranya telah menghasilkan ukuran-ukuran ponton, berat bandul dan panjang lengan bandul serta daya dan putaran yang dihasilkan.

Cara kerja PLTGL-SB ini cukup menarik. Ponton yang berfungsi sebagai kapal mengangkut bandul yang terintegrasi dengan generator. Untuk menghasilkan putaran generator yang maksimal, bandul dibantu dengan alat transmisi *double-flywheel* dan diintegrasikan dengan bantuan rantai. Setiap gerakan air laut akan menggoyangkan bandul sehingga menggerakkan *double-flywheel* untuk memutar generator untuk menghasilkan listrik.

Energi yang dihasilkan alat ini sangat tergantung dari gerakan ponton. Gerakan yang terjadi pada ponton adalah gerakan rotasi, gerakan ini muncul sebagai akibat dari tabrakan dengan permukaan gelombang atau tekanan naik turun dibawah permukaan laut. Gerakan ponton akibat fluktuasi gelombang laut itu akan membuat bandul yang ada pada ponton ikut bergerak. Gerakan tersebut ditransmisikan menjadi gerakan putar untuk memutar generator. PLTGL-SB dari Zamrisyaf dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Ilustrasi PLTGL-SB Zamrisyaf SY

Tetapi akibat gerak ponton datar yang cenderung acak diakibatkan oleh datangnya gelombang laut yang mengganggunya dan tidak beraturan. Pergerakan ponton datar yang acak ini mempengaruhi perputaran bandul yang berada di atasnya. Oleh karena itu penelitian ini dibuat untuk menyempurnakan perancangan sebelumnya yaitu dengan desain yang berbeda dimana letak pendulum dibuat horizontal dan bentuk dari ponton terhadap arus listrik yang dihasilkan pada alat Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut-Sistem Bandul ini.

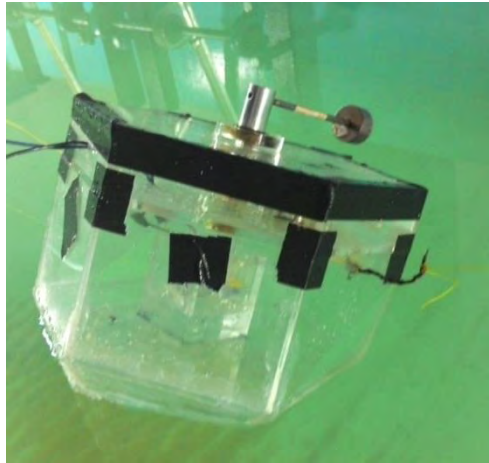
Dengan panjang lengan 2 meter dan berat bandul 10 kg, PLTGL pak Zamrisyaf ini dapat membangkitkan 20 MW. PLTGL ini sangat cocok untuk ditempatkan di daerah kepulauan. Hal ini dikarenakan PLTGL ini tidak membutuhkan lahan yang begitu luas.

2.1.2 PLTGL oleh Reza Dristya Joudha dan Putu Risti Nirmalasari^[2]

Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut ini menggunakan ponton dengan sistem single pendulum, dimana energi potensial yang dihasilkan oleh gelombang laut memutar pendulum untuk memutar generator. mekanisme Pembangkit



Listrik Tenaga Gelombang Laut Ponton Single Pendulum dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 PLTGL oleh Reza Dristya Joudha

Untuk desain ponton PLTGL-PSP tersebut menggunakan bahan akrilik dengan bentuk segi enam, tetapi perbandingan volume tercelup dengan volume tidak tercelup tidak seimbang, hal ini membuat pertemuan titik bouyancy dan titik gravitasi atau disebut titik metasentris berhimpit dengan titik gravitasi, sehingga stabilitas ponton dalam kondisi netral. Stabilitas netral jika ponton mendapat gaya dari ombak dapat menyebabkan ponton terbalik. Pada percobaan PLTGL-PSP ini dilakukan dengan variasi frekuensi inverter dan amplitudo, berikut hasil dari percobaan dapat dilihat pada tabel 2.1.



Tabel 2.1 Data Hasil percobaan PLTGL-SSP Reza Dristya Joudha

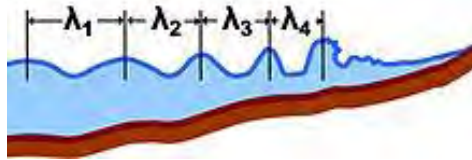
Stroke (mm)	F inv (Hz)	A (m)	P (Watt)
100	10	0,015	0,0010883
	12	0,015	0,0010801
	15	0,035	0,0011009
125	10	0,018	0,0036437
	12	0,02	0,0044042
	15	0,039	0,0043012
150	10	0,027	0,0043789
	12	0,034	0,0055858
	15	0,052	0,0050271

Dari data tabel, dapat dilihat bahwa daya terbesar 0,0055858 Watt dihasilkan pada amplitudo 0,034 meter dan frekuensi sebesar 12 Hz, hasil tersebut didapat dengan panjang lengan tetap 100 mm dan massa pendulum 80 gram.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Gelombang Air Laut

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus pada permukaan air laut yang membentuk kurva ataupun grafik sinusoidal. Bentuk gelombang sinusoidal memiliki karakteristik panjang gelombang yang lebih besar dari tinggi gelombangnya saat di laut sedangkan ketika mendekati daerah pantai maka panjang gelombang menjadi lebih kecil dari tinggi gelombangnya seperti pada Gambar 2.3 di bawah ini.

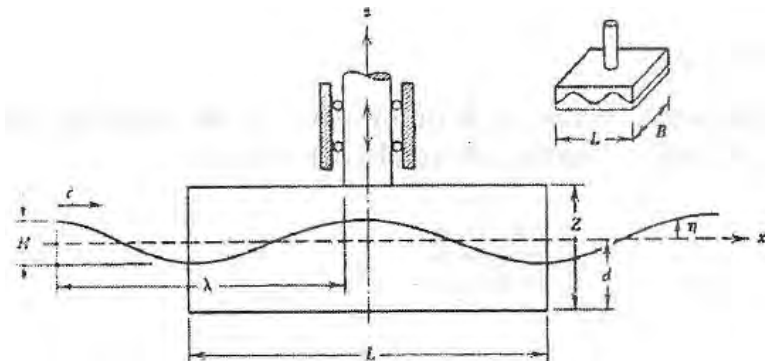


Gambar 2.3 Gelombang Air Laut.

(Sumber: <http://id.wikipedia.org/wiki/Gelombang>)

Gelombang pada air laut terjadi akibat beberapa fenomena seperti benda yang bergerak pada atau dekat permukaan sehingga terjadi gelombang dengan perioda kecil, angin yang merupakan sumber penyebab utama gelombang lautan, gangguan seismik yang menyebabkan terjadinya gelombang pasang atau tsunami, medan gravitasi bumi dan bulan menyebabkan gelombang pasang yang tinggi.

Berdasarkan definisi gelombang air laut, ketika diletakkan suatu benda dengan mekanisme tertentu akan dihasilkan energi mekanik dan energi kinetik yang menimbulkan energi listrik. Adapun ilustrasi benda tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Benda mengapung terkena gerak naik turun air laut.

(Sumber: Astu Pudjanarsa, Djati Nursuhud. 2007)



Pada gambar 2.4. ditunjukkan suatu benda yang memanfaatkan gerak naik turunnya air laut pada arah vertikal. Gerak naik turun benda mendorong suatu mekanisme alat yang dapat mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik ataupun penggerak mekanisme lain. Besarnya frekuensi gerak naik turun dari benda terapung dijabarkan oleh McCormick (1973) sebagai berikut.

$$f_z = \frac{1}{T_z} = \frac{\omega_z}{2\pi} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\rho g A_{wp}}{m + m_w}} \quad (2.1)$$

Dimana,

T_z : periode gerak naik turun

ω : frekuensi sirkular ($2\pi f$)

ρ : massa jenis air laut

m : massa sistem yang bergerak naik turun

m_w : masa air yang merangsang gerak naik turun

A_{wp} : luas muka benda yang mengapung

Pengertian dari bangunan apung adalah suatu konstruksi yang mengapung di atas air yang digunakan untuk tujuan tertentu. Contoh dari bangunan apung yang banyak dikenal adalah kapal yang biasa digunakan sebagai sarana angkutan. Ponton juga merupakan salah satu jenis bangunan apung, tidak memiliki sistem penggerak sehingga gerakannya sangat dipengaruhi oleh gerakan gelombang laut.

Pada bangunan apung, benda mendapat gaya berat dari bumi yang arahnya ke bawah, supaya terapung maka benda harus mendapat gaya apung atau gaya angkat ke atas. Gaya apung harus sama besar dengan gaya berat supaya benda tidak naik atau terbenam di air, sebagaimana hukum Archimides yaitu gaya sama dengan gaya berat air yang dipindahkan.

$$F_A = \rho_a \times V_a \times g \quad (2.2)$$



Gaya berat air yang dipindahkan (F_A) merupakan perkalian antara volume (V_a), massa jenis air (ρ_a), dan percepatan gravitasi (g). Sehingga apabila kita mengetahui gaya berat suatu bangunan apung, maka bisa dihitung volume benda yang terbenam di air sehingga supaya benda bisa mengapung.

Gaya berat pada bangunan yang terapung dapat dibagi menjadi *lightweight* dan *deadweight*. *Lightweight* merupakan berat komponen yang bersifat tetap, misalnya berat konstruksi, berat seluruh permesinan, berat seluruh peralatan dan perlengkapan, dan lain-lain. Sedangkan *deadweight* merupakan berat komponen yang dapat dipindahkan, misalnya berat muatan, berat bahan bakar dan minyak pelumas dari mesin jika menggunakan mesin, dan berat air (baik air tawar maupun air laut untuk kebutuhan operasional). Oleh karena itu gaya apung besarnya harus sama dengan jumlah berat total antara *lightweight* dan *deadweight* agar bangunan apung dapat mengapung pada syarat yang ditentukan.

2.2.2 Titik-titik Penting dalam Benda Apung

Pengertian stabilitas adalah kemampuan suatu benda yang melayang atau mengapung untuk kembali ke kedudukan semula setelah mengalami gangguan kecil (miring). Ada tiga macam titik penting dalam teori stabilitas, yaitu titik berat (*centre of gravity*), titik apung (*centre of bouyancy*), dan titik metasentris.

a) Titik Berat (*Centre of Gravity*)

Titik berat (*centre of gravity*) atau biasa dikenal dengan titik G, merupakan titik tangkap dari semua gaya-gaya yang menekan ke bawah. Pada bangunan apung letak titik G ini dapat diketahui dengan menghitung pada semua pembagian beratnya, semakin besar berat pada bagian atas maka semakin tinggi pula posisi dari titik G. Karena letak titik G ini posisinya tergantung dari pembagian berat pada benda, jadi selama tidak ada berat yang digeser, ditambah, atau dikurangi maka posisi dan titik G ini



tidak akan berubah walaupun benda mengalami *trim* (angguk) atau *rolling* (oleng).

b) Titik Apung (*Centre of Bouyancy*)

Titik apung (*centre of bouyancy*) atau biasa dikenal dengan titik B, merupakan titik tangkap dari resultan gaya-gaya yang menekan tegak ke atas dari bagian benda yang tercelup ke air. Titik tangkap B ini bukanlah merupakan suatu titik yang tetap, tetapi bisa berpindah sebagai akibat adanya perubahan sarat air pada benda. Pada bangunan apung, titik B inilah yang menyebabkan benda dapat kembali ke posisi semula setelah benda mengalami *trim* (angguk) atau *rolling* (oleng).

c) Titik Metasentris

Titik metasentris atau biasa dikenal dengan titik M, merupakan titik perpotongan vektor gaya ke atas pada keadaan seimbang dengan vektor gaya ke atas pada keadaan miring dengan sudut kecil. Titik metasentris ini posisinya dapat berubah - ubah tergantung dari besarnya sudut kemiringan suatu benda. Pada keadaan setimbang tanpa beban tinggi metasentris dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$MG = KB + BM - KG \quad (2.3)$$

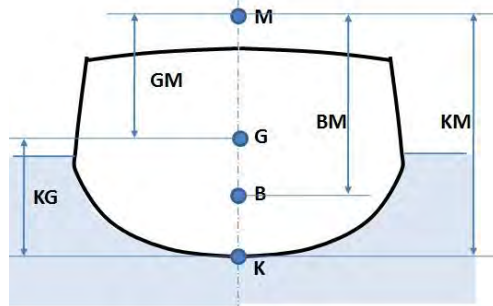
$$MG = KB + \frac{I}{V} - KG \quad (2.4)$$

Dimana:

I = Inersia penampang (m^4)

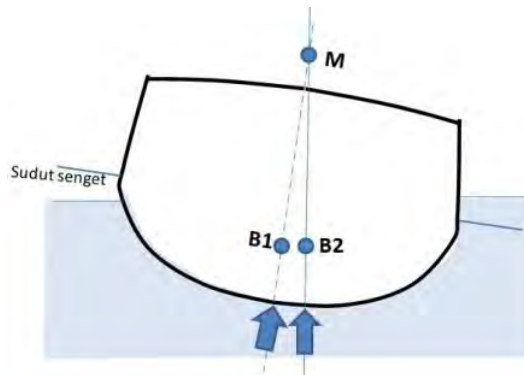
V = Volume tercelup (m^3)

Gambar 2.5 dan 2.6 di bawah merupakan ilustrasi titik berat (*centre of gravity*), titik apung (*centre of bouyancy*) dan titik metasentris kapal.



Gambar 2.5 Ilustrasi titik berat dan titik apung

(C.B. Barrass and D.R. Derret "Ship Stability for Masters and Mates". sixth edition)



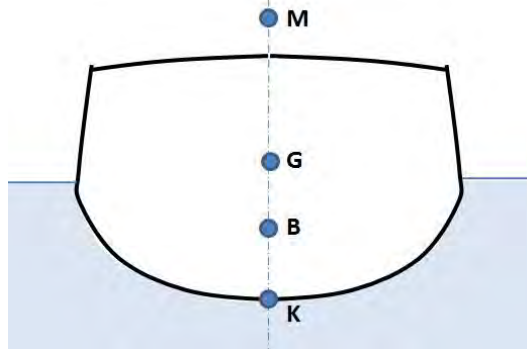
Gambar 2.6 Letak titik metasentris kapal

(C.B. Barrass and D.R. Derret "Ship Stability for Masters and Mates". sixth edition)



2.2.3 Stabilitas

Pengertian stabilitas adalah kemampuan suatu benda yang melayang atau mengapung untuk kembali ke kedudukan semula setelah mengalami gangguan kecil (miring). Stabilitas suatu bangunan apung dibagi menjadi dua, yaitu stabilitas memanjang dan stabilitas melintang. Stabilitas memanjang adalah stabilitas yang terjadi saat benda mengalami *trim* (anggik), sedangkan stabilitas melintang adalah stabilitas yang terjadi saat benda mengalami *rolling* (oleng). Stabilitas pada sudut-sudut oleng yang kecil (0° sampai 7° - 10°) disebut *stabilized* awal.



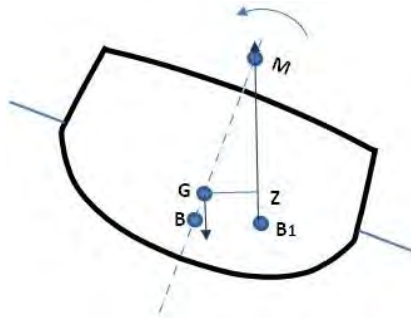
Gambar 2.7 Benda Mengapung Seimbang

(C.B. Barrass and D.R. Derret "Ship Stability for Masters and Mates". sixth edition)

Benda yang mengapung dinyatakan seimbang kalau titik beratnya G dan titik buoyancy B berada pada satu garis yang tegak lurus dengan permukaan air. (lihat Gambar 2.7). Keseimbangan dari benda yang mengapung ditentukan oleh jarak antara titik metasentris (M) terhadap titik beratnya (G). adapun letak M terhadap G itu terdapat juga tiga kemungkinan yaitu:



a. M diatas G

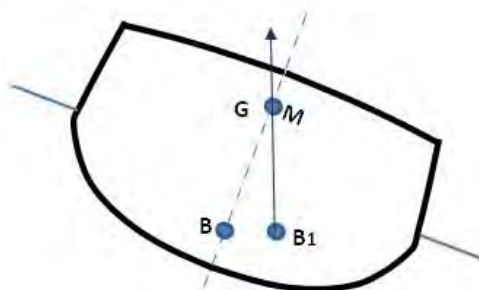


Gambar 2.8 Benda Stabil

(C.B. Barrass and D.R. Derret "*Ship Stability for Masters and Mates*". sixth edition)

Dapat dilihat pada Gambar 2.8 dimana dalam keadaan ini, maka keseimbangan benda dinyatakan Stabil, sebab gaya apung keatas dan gaya berat benda(ponton) merupakan Koppel yang menyebabkan benda tersebut akan kembali berdiri tegak lagi. Maka Stabilitasnya adalah positif.

b. M pada G



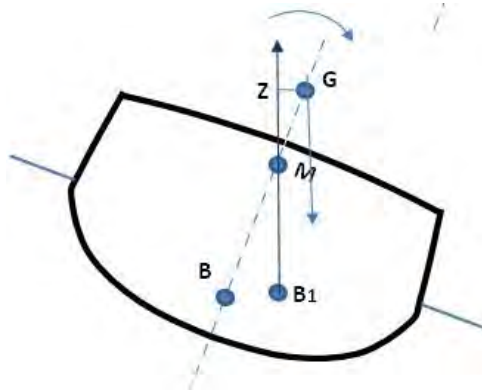
Gambar 2.9 Benda Keseimbangan Indifferen

(C.B. Barrass and D.R. Derret "*Ship Stability for Masters and Mates*". sixth edition)



Dapat dilihat pada Gambar 2.9 keseimbangan semacam ini dinyatakan indifferen, sebab garis gaya apung dan garis gaya berat benda tidak membentuk momen Koppel terletak berimpit (momen Koppel = 0). Dengan demikian kedudukanya seimbang sehingga stabilitasnya = 0.

c. M dibawah G



Gambar 2.10 Benda Keseimbangan Labil

(C.B. Barrass and D.R. Derret "Ship Stability for Masters and Mates". sixth edition)

Dapat dilihat pada Gambar 2.10 keseimbangan semacam ini adalah labil, sebab Koppel yang dibentuk oleh gaya apung dan berat benda akan memperbesar sudut lambungnya. Maka stabilitasnya dinyatakan negatif

Titik – titik penting ponton selain menentukan stabilitas ponton dapat pula digunakan untuk menganalisa gaya yang terjadi pada gelombang laut. Seperti pada rumusan berikut ini.

$$F_{generated} = \sum F = (F_{wave} + F_{bouyancy}) - F_{gravitasi}$$



Dimana,

$F_{generated}$ = resultan gaya yang dihasilkan untuk menggerakkan benda bergerak keatas

$F_{buoyancy}$ = gaya apung pelampung

$F_{gravitasi}$ = gaya berat yang diterima sistem penangkap gelombang

Gaya yang dihasilkan gelombang sebagai berikut.

$$F_w = \frac{P_w}{\lambda} \cdot T \quad (2.5)$$

$$\lambda = \sqrt{H^2 \times g \times periode (T)} \quad (2.6)$$

$$P_{wave} = \frac{\rho g^2 H^2 T \cdot b}{32\pi} \quad (2.7)$$

Dimana,

P_{wave} = wave power; energy flux

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

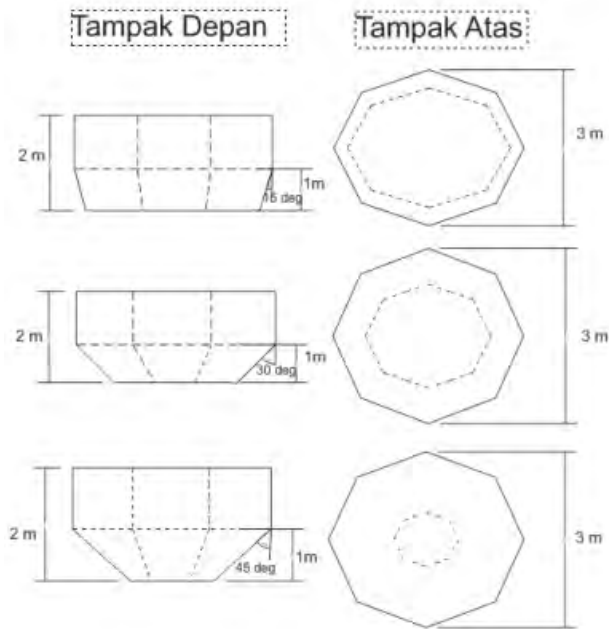
g = percepatan gravitasi (9.8 m/s^2)

H = tinggi gelombang (meter)

T = periode (second)

b = lebar ponton (meter)

Studi Optimasi Kemiringan Lambung Ponton Segidelapan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul terhadap Variasi Sarat Air (digilib.its.ac.id) berisi tentang pengaruh kemiringan lambung ponton (15° , 30° , dan 45°) terhadap respon gerak ponton dengan variasi sarat air. Gambar 2.11 menunjukkan bentuk kemiringan lambung ponton.



Gambar 2.11 Ponton dengan ukuran tinggi 2 meter, panjang jari-jari dalam segidelapan 1,5 meter, dan variasi kemiringan lambung (15° , 30° , dan 45°)^[5]

Objek yang diteliti adalah pembangkit listrik tenaga gelombang sistem bandul karya Zamrisyaf dengan gerak dari struktur ponton hanya ditinjau dari arah *pitch* saja. Beban lingkungan yang mengenai struktur hanya gelombang *regular* dengan tinggi gelombang 1,5 meter dan kedalaman perairan 10 meter. Hasil analisa respon gerak ponton segidelapan ini menunjukkan bahwa kemiringan lambung 45° mempunyai rata - rata amplitudo yang terbaik.



Stabilitas desain ponton dapat dicari dengan membandingkan volume air yang diangkat dengan volume benda yang tercelup. Untuk mengetahui volume air yang diangkat dan volume yang tercelup yang dicari adalah angka koefisien blok dari ponton. Koefisien blok adalah nilai dari perbandingan volume kapal atau ponton yang didesain dengan volume balok dengan sisi terpanjang dari desain tersebut. Koefisien blok didapat dari rumus 2.10

$$CB = \frac{V_{prisma}}{V_{balok}} \quad (2.8)$$

$$CB = \frac{Va}{LBT} \quad (2.9)$$

Setelah diperoleh nilai koefisien blok diperoleh, nilai tersebut dikalikan dengan panjang (L), lebar (B) dan ketinggian sarat air yang didesain (T) yang dapat dilihat pada persamaan 2.11. Hasil dari perkalian tersebut kemudian dibandingkan dengan volume yang diangkat/dipindahkan (V_a). Apabila nilai $V_a \geq CB.L.B.T$, maka dapat disimpulkan bahwa ponton atau kapal tersebut terapung. Dan apabila nilai $V_a \leq Cb. L. B. T$, dapat disimpulkan bahwa benda tersebut tenggelam.

2.2.4 Gerakan Benda Apung

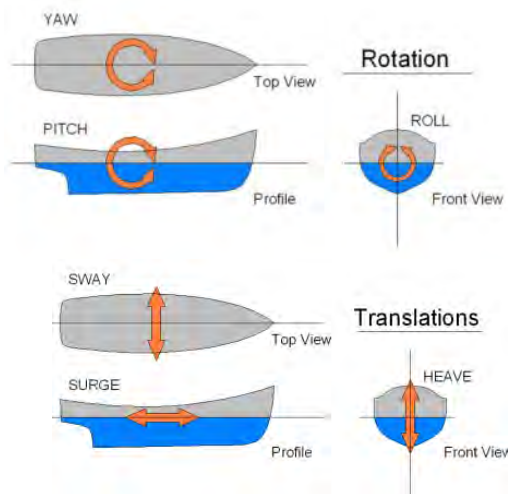
Pertimbangan suatu struktur bergerak bebas pada gelombang laut. Meskipun struktur terikat pada dasar laut, pada umumnya struktur dianggap suatu struktur kaku, oleh karenanya struktur akan mengalami enam pergerakan bebas (*six degrees of freedom*), tiga rotasi dan tiga translasi. Seringkali struktur mempunyai sedikit derajat kebebasan yang disebabkan karena adanya pengikatan struktur pada dasar laut. Kadang - kadang struktur dianggap sebagai silinder dengan diameter kecil dan panjang sehingga mengalami defleksi, sehingga perlu perhitungan fleksibilitasnya. Diambil sistem koordinat OXYZ dengan titik pusatnya pada titik gravitasi sehingga pergerakan strukturnya,



titik O pada pusat tersebut. Gerakan translasi ke arah sumbu X adalah *surge*, ke arah Y adalah *heave* dan ke arah Z adalah *pitch*.

Seperti diterangkan di atas apabila struktur terapung yang bergerak di atas permukaan air mempunyai enam gerakan, yaitu tiga gerakan rotasi dan tiga gerakan translasi. Hanya tiga macam gerakan yang merupakan gerakan osilasi murni, yaitu *heaving*, *rolling*, dan *pitching*. Karena gerakan ini bekerja di bawah gaya atau momen pengembali ketika struktur tersebut terganggu dari posisi keseimbangannya. Untuk gerakan *surging*, *swaying*, dan *yawing* struktur tersebut tidak kembali pada posisi keseimbangan awal bila mendapat gaya luar, kecuali ada gaya atau momen pengembali yang menyebabkan bekerja ada arah berlawanan.

Gambar 2.12 menunjukkan gerakan ponton baik secara translasi maupun rotasi:



Gambar 2.12 Ilustrasi enam pergerakan bebas ponton

(C.B. Barrass and D.R. Derret "Ship Stability for Masters and Mates". sixth edition)^[2]



Dalam kenyataannya suatu struktur akan mengalami enam gerakan secara bersamaan, jadi setiap satu macam gerakan tidaklah berdiri sendiri, sehingga dapat dikatakan bahwa suatu struktur apabila terapung di permukaan air yang terkena gaya luar akan mengalami enam gerakan bersama - sama atau mempunyai enam derajat kebebasan.

2.2.5 Gearbox

Gearbox adalah salah satu komponen utama motor yang disebut sebagai sistem pemindah tenaga yang mempunyai beberapa fungsi antara lain:

1. Merubah momen puntir yang akan diteruskan ke spindel mesin.
2. Menyediakan rasio gigi yang sesuai dengan beban mesin.
3. Menghasilkan putaran mesin tanpa selip.

Adapun prinsip kerja *gearbox* yaitu dengan menggunakan Putaran dari motor diteruskan ke input shaft (poros input) melalui hubungan antara kopling, kemudian putaran diteruskan ke main shaft (poros utama), torsi atau momen yang ada di mainshaft diteruskan ke spindel mesin, karena adanya perbedaan rasio dan bentuk dari gigi - gigi tersebut sehingga rpm atau putaran spindel yang di keluarkan berbeda, tergantung dari rpm yang diinginkan.

2.2.6 Generator

Penerapan dari konsep induksi elektromagnetik digunakan pada dinamo atau generator. Alat ini mengubah energi mekanik atau kinetik menjadi energi listrik. Prinsip kerja dinamo atau generator ada dua macam, antara lain:

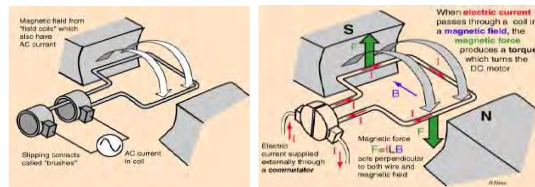
1. Kumparan berputar di dalam suatu medan magnet.
2. Magnet berputar di antara beberapa kumparan.

Saat kumparan diputar diantara kutub - kutub magnet sehingga memotong garis - garis medan magnet maka kumparan akan menerima fluks magnet yang besarnya berubah - ubah. Perubahan fluks magnet ini dapat menimbulkan ggl induksi.



Energi kinetik pada dinamo atau generator dapat diperoleh dari putaran roda, angin, dan air terjun. Pada umumnya berdasarkan arus yang dihasilkan, dinamo atau generator dibedakan menjadi dua macam, yaitu AC (arus bolak - balik) dan DC (arus searah). Pada sebuah dinamo terdapat bagian yang berputar disebut *rotor*, sedangkan bagian yang diam disebut *stator* dapat dilihat pada Gambar 2.13. Gaya gerak listrik induksi pada dinamo ataupun generator dan juga kuat arus induksinya dapat diperbesar dengan cara sebagai berikut:

1. Mempercepat putaran rotor.
2. Memperbesar jumlah lilitan kumparan.
3. Menggunakan magnet yang kuat.
4. Memasukan inti besi lunak ke dalam kumparan.



Gambar 2.13. Kumparan berputar didalam suatu medan magnet pada generator
(a) AC (b) DC.

(Sumber: Jurnal studi eksperimental dan menganalisa pengaruh variasi massa bandul terhadap pola gerak bandul dan voltase bangkitan generator pada Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut - Sistem Bandul Konis ponton datar, Luluk, 2011)

Prinsip kerja dinamo atau generator DC sama dengan generator AC. Namun, generator DC arah arus induksinya tidak berubah. Hal ini disebabkan cincin generator DC berupa cincin belah (komutator). Besarnya GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi dalam kumparan atau voltase yang dibangkitkan oleh generator adalah sebagai berikut.



$$E_{max} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega$$

Dimana,

N = Jumlah lilitan (buah)

B = Kuat medan magnet (T)

A = Luas kumparan (m²)

ω = Kecepatan sudut (rad/sec)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

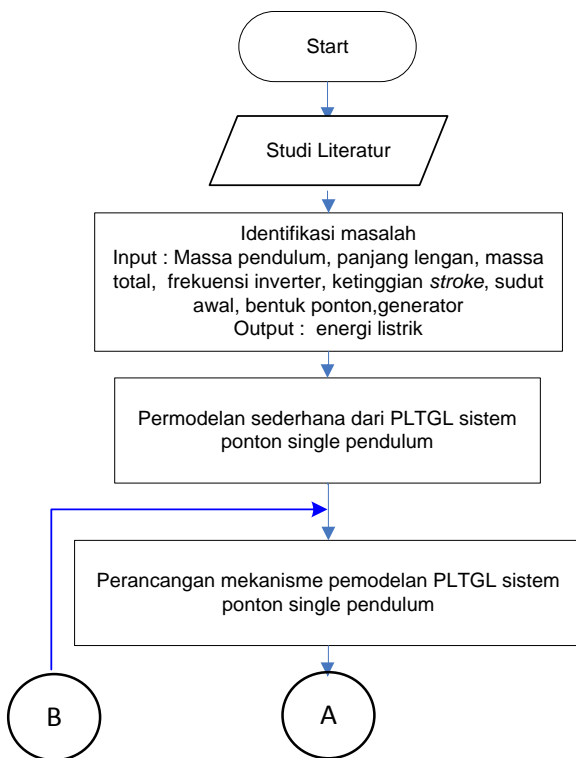


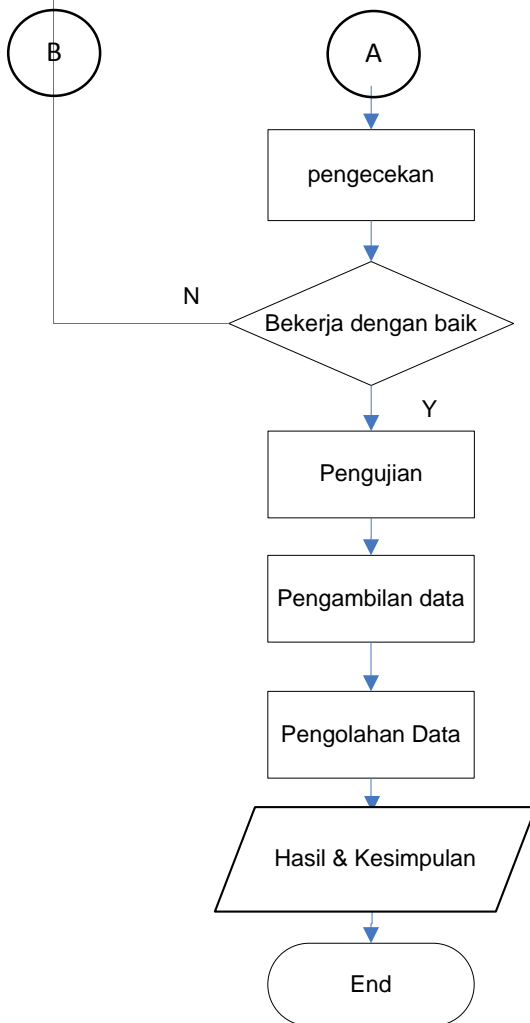
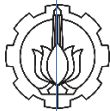
BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian.

Agar penulisan Penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan seperti yang tercantum pada tujuan maka perlu dilakukan langkah - langkah yang sesuai dengan prosedur analisa. Prosedur analisa akan dijelaskan melalui diagram alir/ *flow chart* sebagai berikut ini:

3.1.1 *Flowchart* Penelitian





Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian



3.1.2 Penjelasan *Flowchart* Penelitian

1. Studi Literatur

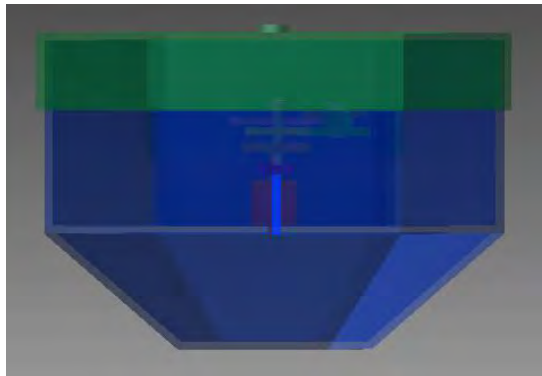
Sebelum dilakukan penelitian, dilakukan beberapa studi mengenai beberapa literatur dan referensi yang berkaitan dengan getaran *single degree of freedom*, ponton, gerak pendulum, energi gelombang laut, energi listrik, dan generator. Literatur yang dipelajari berupa penelitian, jurnal, diktat perkuliahan dan *textbook*.

2. Identifikasi masalah

Pada Tugas Akhir ini, masalah diidentifikasi menjadi dua yaitu berupa input dan output. Dimana input yang diberikan berupa variasi frekuensi dan amplitudo gelombang. Variasi amplitudo dengan *stroke* berturut-turut 125 mm, 150 mm dan 175 mm. Sedangkan variasi frekuensi tersebut 12 Hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz. Dan sudut awal posisi pendulum 270°, 315° dan 360°. *Output* dari penelitian ini berupa energi listrik yang dilihat dari besarnya voltase yang dihasilkan generator.

3. Pemodelan sederhana dari PLTGL sistem Ponton Single Pendulum

Model Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut sistem pendulum-ponton datar yang sebenarnya mempunyai bentuk yang lebih kompleks. Sedangkan dalam percobaan ini gerakan gelombang laut disimulasikan dengan mekanisme yang menghasilkan gelombang laut. dengan kolam berukuran 4,5 m x 1 m x 0.7 m. Pendulum bergerak rotasi bebas terhadap ponton dimana pusat putaran dihubungkan ke generator yang ada dalam box ponton. Visualisasi model sederhana dari PLTGL sistem Ponton *Single Pendulum* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Model Sederhana Ponton *Single Pendulum*

4. *Perancangan model mekanisme Ponton Single Pendulum.*

Mendesain dengan menggunakan *software Inventor*, dimana ponton sendiri berbentuk prisma segienam sama sisi dengan ukuran sisinya 150 mm dengan tinggi 200 mm. Pada ponton berisi roda gigi *one-way* yang berfungsi sebagai pembalik, bantalan, *gearbox*, dan generator. Pada ponton itu didesain ditiruskan dengan sudut 45° yang bertujuan agar ponton dapat menyerap energi gelombang laut lebih besar. Dengan adanya ketinggian gelombang laut dan frekuensi tersebut akan mengakibatkan pendulum yang ada diatas ponton berputar, karena ujung pangkal pendulum dihubungkan dengan poros generator yang menjadi pusat putaran pendulum maka generator juga ikut berputar untuk menghasilkan voltase. Parameter-parameter yang akan mempengaruhi voltase yang dihasilkan dari PLTGL ini ada empat. Parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bentuk dari ponton
2. Massa Pendulum
3. Panjang lengan pendulum
4. Massa total dari ponton dan mekanisme



5. Manufacturing Model Mekanisme PLTGL Ponton Single Pendulum

Setelah ditentukan dimensi dan spesifikasi dari alat dan bahan yang akan digunakan dalam pengujian model mekanisme PLTGL sistem Ponton *Single Pendulum*, maka dilakukan pencarian alat dan bahan tersebut di pasaran. Untuk beberapa alat yang membutuhkan pengerjaan khusus dilakukan pemesanan di bengkel. Setelah alat dan bahan tersebut tersedia, maka dapat dilakukan perakitan model mekanisme Ponton *Single Pendulum* seperti pada Gambar 3.2

6. Pengujian Model Mekanisme PLTGL Ponton Single Pendulum

Pengujian model mekanisme PLTGL Ponton *Single Pendulum* dimaksudkan untuk memastikan bahwa pembangkit dapat bekerja dengan baik. Jika model mekanisme PLTGL yang sudah dirakit tidak sesuai dengan tujuan maka dilakukan perakitan atau perencanaan ulang.

7. Pengambilan Data Model Mekanisme PLTGL Ponton Single Pendulum

Pengambilan data model mekanisme PLTGL Ponton *Single Pendulum* sebanyak tiga kali dengan masing-masing variasi pengujian. Variasi dilakukan ketinggian *stroke* yang dihasilkan dari simulator gelombang dengan frekuensi inverter 10 Hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz.

8. Pengolahan Data Model Mekanisme PLTGL Ponton Single Pendulum

Data yang diperoleh dari hasil pengujian model mekanisme PLTGL Ponton *Single Pendulum* akan diolah dengan matlab.



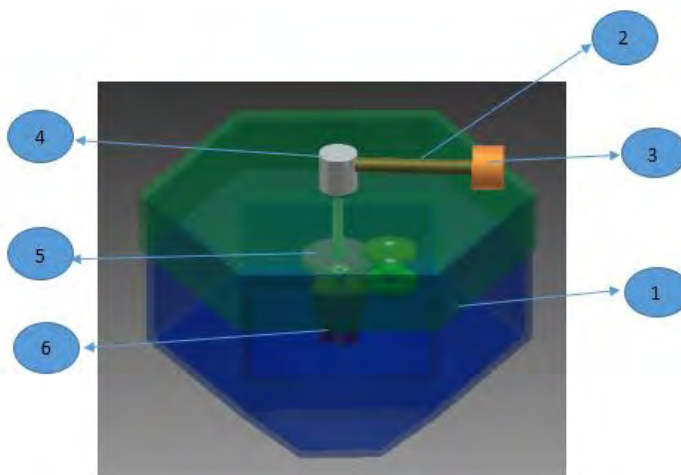
9. Hasil dan Kesimpulan Model Mekanisme PLTGL Ponton Single Pendulum

Dari pengolahan data maka didapat hasil pengujian dalam bentuk grafik yang nantinya akan dianalisa dan diambil kesimpulan.

3.2. Rancangan Mekanisme

3.2.1 Rancangan Teoritis

Pada penelitian ini rancangan model mekanisme PLTGL Ponton Single Pendulum terdiri dari tujuh bagian. Bagian-bagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3 dibawah.



Gambar 3.3 Bagian-bagian Model Mekanisme PLTGL Ponton *Single Pendulum*

Pada Gambar 3.3. telah ditunjukkan bagian-bagian Model Mekanisme PLTGL Ponton *Single Pendulum*. Bagian-bagian tersebut adalah sebagai berikut:



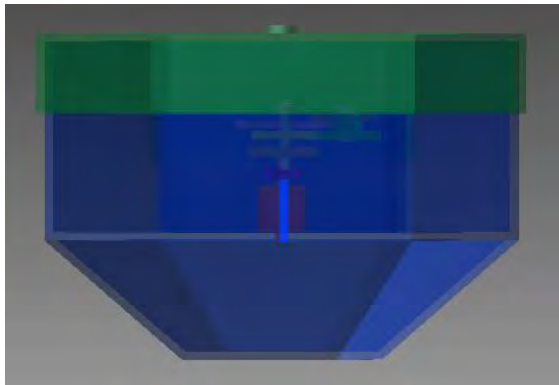
1. Ponton

Ponton adalah suatu jenis kapal dengan lambung datar yang mengapung, digunakan untuk mengangkut barang. Ponton ini digunakan untuk mengangkat mekanisme seluruh komponen dari model mekanisme PLTGL Ponton *Single* Pendulum. Pada penelitian ini ponton harus mengapung apabila dibebani mekanisme PLTGL. Ponton ini didesain stabil dan harus mengapung. Dimensi dari ponton ditentukan dengan persamaan berikut:

$$L = \frac{1}{4} \lambda \quad (3.1)$$

$$\lambda = \sqrt{H^2 \times g \times \text{Periode } (T)} \quad (3.2)$$

Bentuk dari Model mekanisme Ponton *Single* Pendulum dibuat seperti pada Gambar 3.4:

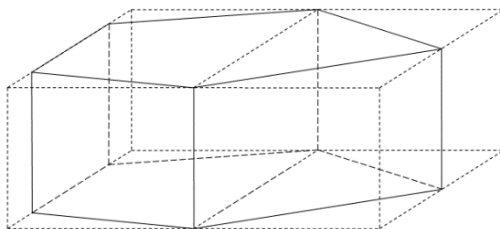


Gambar 3.4 Ponton

Untuk membuktikan bahwa ponton yang digunakan pada penelitian ini mengapung, maka ponton tersebut didesain ketinggian sarat air (T) berapa cm. Karena ponton yang dibuat memiliki luas penampang segienam, maka ponton tersebut memiliki nilai koefisien blok (CB). Koefisien blok adalah



perbandingan antara volume ponton yang didesain dengan volume balok dari ponton tersebut. Gambar 3.5 menunjukkan ilustrasi dari volume ponton dibandingkan dengan volume balok tersebut.



Gambar 3.5 Ilustrasi dari koefisien blok.

Perhitungan Koefisien Blok dapat dicari dengan rumus:

$$CB = \frac{V_{prisma}}{V_{balok}} \quad (3.3)$$

Setelah nilai dari koefisien blok diperoleh, volume yang dipindahkan akibat beban dari ponton dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_a = \frac{1}{3}x\frac{3}{2}\sqrt{3}.s^2x t^2 \quad (3.4)$$

Dimana:

s = merupakan panjang sisi dari segi enam (m)

t = tinggi dari prisma segi enam (m)

Dari rumus 3.4 dan 3.3 diperoleh nilai volume air yang terangkat (V_a) dan koefisien blok (CB). Dengan rumus 3.5, suatu ponton dapat diketahui apakah mengapung atau tenggelam.

$$CB = \frac{V_a}{LBT} \quad (3.5)$$



Apabila nilai $V_a \geq \text{CB.L.B.T.}$, maka dapat disimpulkan bahwa ponton atau kapal tersebut terapung. Dan apabila nilai $V_a \leq \text{CB. L. B. T.}$, dapat disimpulkan bahwa benda tersebut tenggelam.

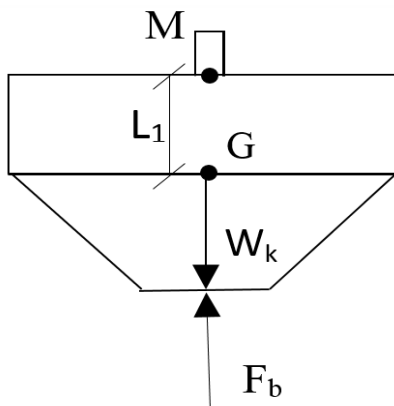
Massa ponton dapat ditentukan dengan menggunakan hukum archimides nilai volume air tersebut dapat dicari.

$$F_A = \rho_a \times g \times V_a \quad (3.6)$$

F_A diatas adalah gaya angkat akibat berat ponton. Jadi persamaan (3.6) dapat diganti dengan persamaan berikut:

$$m_k \times g = \rho_a \times g \times V_a \quad (3.7)$$

$$m_k = \rho_a \times V_a \quad (3.8)$$

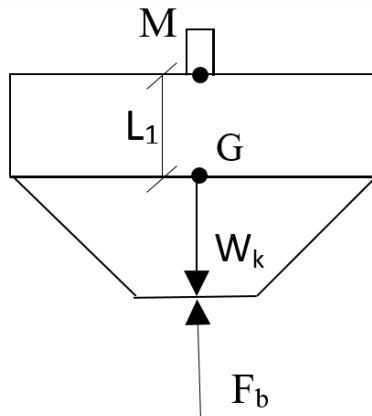


Gambar 3.6 Titik-titik dan arah gaya yang terjadi saat ponton tanpa beban pendulum dan tanpa dipengaruhi gaya gelombang

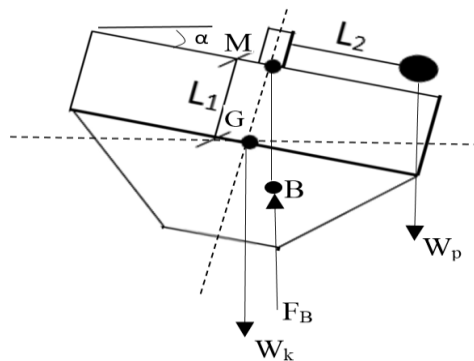
Gambar 3.6 adalah gambar titik-titik dan arah gaya pada ponton belum dibebani oleh pendulum. Pada gambar di atas ada empat titik dan dua gaya statis. Titik-titik tersebut adalah titik M, G, W, dan B. Titik M adalah titik metasentris, titik G adalah titik *center of gravity*, titik W adalah titik dimana ketinggian ponton tercelup air dan yang terakhir titik B yang disebut titik bouyancy.



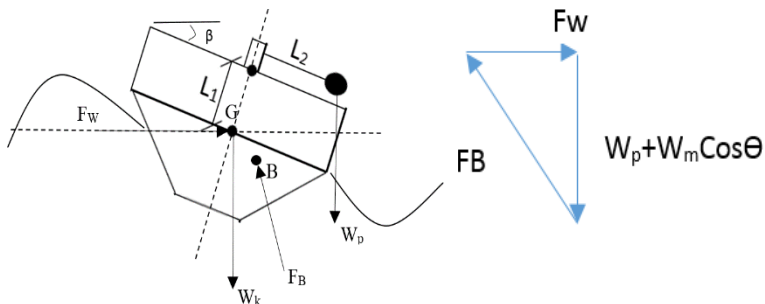
Ponton pada keadaan statis dimana tidak ada gaya bangkitan gelombang. Pada kondisi ini gaya berat atau gaya pada titik *center of gravity* sama dengan pada gaya titik *bouyancy*. Pada gambar 3.7c adalah keadaan dimana ponton diberi beban pendulum dan ponton tersebut diberi gaya bangkitan gelombang sebesar F_w .



(a) Keadaan ponton statis ketika tanpa diberi beban massa M yang tercelup air



(b) Keadaan ponton statis ketika diberi beban massa M yang tercelup air



(c) Keadaan ponton dinamis ketika diberi beban massa M yang tercelup air

Gambar 3.7 Analisa gaya pada ponton

Gambar 3.7 adalah ilustrasi ponton yang diberi beban pendulum pada keadaan statis. Yang membedakan gambar 3.6 dengan gambar 3.7 adalah titik G (*center of gravity*) yang bergeser ke arah pendulum itu bergerak. Pergeseran titik G tersebut tidak begitu signifikan. Hal ini dikarenakan perbandingan dari massa ponton sebesar 2,35 kg sedangkan massa pendulum itu sendiri adalah 0.018 kg. Selain itu juga terjadi pergeseran titik B (*bouyancy*) dikarenakan kemiringan ponton. Dari *free body diagram* diatas dapat diperoleh persamaan gaya statis sebagai berikut:

$$\sum F_y = 0 \quad (3.9)$$

$$F_b - W_k - W_p = 0 \quad (3.10)$$

$$F_b - [(m_k + m_p) \times g] = 0 \quad (3.11)$$

$$F_b = (m_k + m_p) \times g \quad (3.12)$$

$$\sum M = 0 \quad (3.13)$$

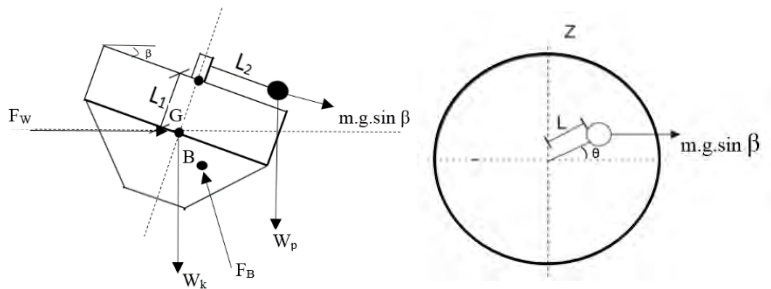
$$W_k \cdot L_1 \cdot \sin \alpha - W_p \cdot L_2 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \theta = 0 \quad (3.14)$$



$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{W_p L_2 \cos \theta}{W_k L_1} \quad (3.15)$$

$$\tan \alpha = \frac{W_p L_2 \cos \theta}{W_k L_1} \quad (3.16)$$

Dengan diketahui massa ponton, lengan pendulum dan titik *center of gravity* maka dapat diperoleh berat pendulum yang ingin digunakan, tetapi sebelumnya harus ditentukan seberapa besar sudut α_0 yang dibentuk oleh kemiringan ponton. Untuk mendapatkan sudut β dari ponton dan pendulum maka digunakan persamaan yang ditinjau sebelum sesaat ponton bergerak terkena gaya gelombang air. Untuk kesetimbangan dinamis dapat dilihat pada Gambar 3.8:



Gambar 3.8 *Free body diagram* ponton dan pendulum pada kesetimbangan dinamis

Dari Gambar 3.8 didapat persamaan gaya dinamis untuk memperoleh sudut β dari ponton seperti dibawah :

$$\sum F_y = 0 \quad (3.17)$$

$$F_b \cos \beta - W_p \cos \theta - W_k = 0 \quad (3.18)$$

$$F_b \cos \beta = W_p \cos \theta + W_k \quad (3.19)$$

$$F_b = \frac{W_p \cos \theta + W_k}{\cos \beta} \quad (3.20)$$



$$\sum F_x = 0 \quad (3.21)$$

$$F_w - F_b \sin \beta = 0 \quad (3.22)$$

$$F_b \sin \beta = F_w \quad (3.23)$$

Substitusi pers. 3.18 ke 3.21 :

$$\frac{(W_p \cdot \cos \theta + W_k) \sin \beta}{\cos \beta} = F_w \quad (3.24)$$

$$\tan \beta = \frac{F_w}{W_p \cdot \cos \theta + W_k} \quad (3.25)$$

Dari Gambar 3.8 diperoleh persamaan gaya dinamis pendulum seperti dibawah :

$$\sum M = I \cdot \ddot{\theta} \quad (3.26)$$

$$m_p \cdot g \cdot \sin \beta \cdot L \sin \theta - Ct \dot{\theta} - K_t \cdot \theta = \left(\frac{1}{3} m_l L^2 + m_p L^2 \right) \ddot{\theta} \quad (3.27)$$

$$\left(\frac{1}{3} m_l L^2 + m_p L^2 \right) \ddot{\theta} + Ct \dot{\theta} + K_t \theta - m_p \cdot g \cdot \sin \beta \cdot L \sin \theta = 0 \quad (3.28)$$

$$\left(\frac{1}{3} m_l L^2 + m_p L^2 \right) \ddot{\theta} + Ct \dot{\theta} + (K_t - m_p \cdot g \cdot \sin \beta \cdot L) \theta = 0 \quad (3.29)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_t - m_p \cdot g \cdot \sin \beta \cdot L}{\frac{1}{3} m_l L^2 + m_p L^2}} \quad (3.30)$$

$$K_t = \frac{\pi d^4 \frac{E}{32L}}{2(1+\nu)} \quad (3.31)$$

Dimana:

K_t = Kekakuan (Nm/rad)

E = Modulus Elastisitas (MPa)

ν = Poisson Number

L = Panjang Poros (m)



2. Lengan Pendulum

Lengan pendulum merupakan komponen penghubung antara pendulum dan poros utama. Dalam penelitian ini panjang lengan pendulum dibuat tetap 80 mm seperti Gambar 3.9.



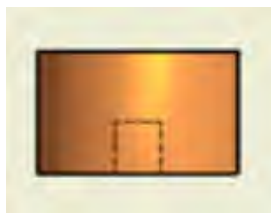
Gambar 3.9 Sketsa lengan Pendulum PLTGL-PSP

3. Beban Pendulum

Untuk menentukan beban pendulum ditentukan dengan perumusan gaya yang bekerja pada ponton saat kondisi statis, pendulum dapat dicari dengan persamaan (3.16) sebagai berikut:

$$\tan \alpha = \frac{W_p L_2 \cos \theta}{W_k L_1} \quad \theta = 0^\circ$$

Dari perhitungan diperoleh berat pendulum tersebut adalah 180 gram. Gambar 3.10 adalah sketsa Pendulum dari model mekanisme PLTGL Ponton *Single* Pendulum. Setelah di peroleh massa pendulum, selanjutnya adalah mengecek hubungan massa pendulum, lengan pendulum dan posisi titik berat PLTGL ini. Sketsa Massa Pendulum PLTGL-PSP dapat dilihat pada Gambar 3.10.

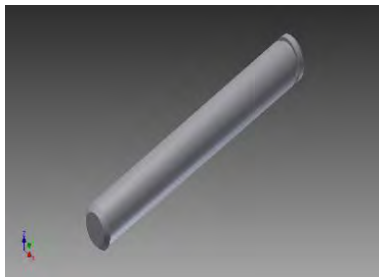


Gambar 3.10 Sketsa Massa pendulum PLTGL-PSP



4. Poros

Poros yang digunakan pada model mekanisme PLTGL Ponton *Single Pendulum* ini berjumlah empat buah yang berbentuk poros bertingkat. Poros ini dibuat dengan bahan aluminium bertujuan untuk meminimalkan gaya berat akibat dari massa yang berlebih dari massa mekanisme. Seperti Gambar 3.11.



(a)

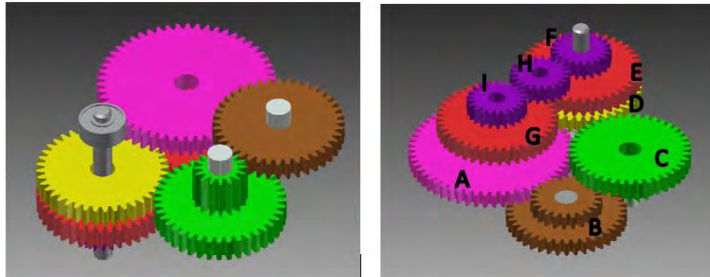


(b)

Gambar 3.11 Sketsa dari poros pada PLTGL-PSP

5. Roda Gigi Pembalik

Roda gigi yang digunakan dalam model mekanisme PLTGL ponton *single pendulum* ini terbuat dari bahan plastik dengan jumlah enam buah. Roda gigi ini dipasang bertujuan untuk menyearahkan putaran dari pendulum yang putarannya berubah-ubah. Putaran pendulum yang berubah-ubah ini terbentuk akibat ketidakstabilan ponton yang terhempas oleh kekuatan gelombang. Gambar 3.12 adalah sketsa roda gigi yang dipakai pada mekanisme PLTGL ponton *single pendulum*



Gambar 3.12 Sketsa roda gigi pembalik PLTGL-PSP

Roda gigi A adalah roda gigi utama yang tersambung dengan poros utama. Pasangan roda gigi A adalah roda gigi B dan C sebagai pembesar ratio putaran. Pasangan roda gigi C adalah roga gigi D sebagai penerus putaran ke poros yang terpasang juga roda gigi E dan F, dimana roda gigi E dan F sebagai *one-way gear*. Roda gigi E dan F penyearah dari putaran poros utama yang arah putarannya berubah-ubah. Putaran roda gigi E dilanjutkan roda gigi G, dimana dimensi kedua roda gigi E dan G harus sama. Dan roda gigi F berpasangan dengan roda gigi H dan roda gigi H berpasangan dengan roda gigi I. Dimana roda gigi F,H dan I memiliki dimensi yang sama. Roda gigi I dan G dipasang pada poros yang meneruskan ke gearbox generator.

Untuk menentukan ukuran-ukuran dari roda gigi tersebut dengan cara mencari luasan dari ponton terlebih dahulu. Setelah luas dari ponton tersebut didapat kemudian mencari roda gigi plastik yang sudah ada dipasaran.

6. Generator

Generator yang digunakan pada penelitian model mekanisme PLTGL - PSP ini adalah motor DC yang putarannya dibalik. Motor DC tersebut nantinya dihubungkan dengan poros output putaran yang sudah disearahkan oleh *one-way gear*.



Tabel 3.1. Spesifikasi motor DC

MODEL	VOLTAGE		NO LOAD		AT MAXIMUM EFFICIENCY					STALL		
	OPERATING RANGE	NOMINAL	SPEED r/min	CURRENT A	SPEED r/min	CURRENT A	TORQUE mNm	TORQUE gcm	OUTPUT W	TORQUE mNm	TORQUE gcm	CURRENT A
RF-300FA-12350	1.5~6.0	3V CONSTANT	3500	0.022	2830	0.093	0.48	4.9	0.14	2.51	26	0.39

Motor DC pada model mekanisme PLTGL Ponton *Single* Pendulum dapat dilihat pada gambar 3.13 berikut ini.



Gambar 3.13 Generator pada PLTGL-PSP

3.3. Pengujian

3.3.1 Peralatan Pengujian

Untuk melakukan studi eksperimental pada model mekanisme PLTGL ponton *single pendulum* ini dibutuhkan beberapa peralatan pengujian.

1. Kolam Simulator Gelombang Laut

Kolam merupakan media untuk dilakukannya pengujian terhadap model mekanisme PLTGL Ponton *Single* Pendulum ini dimana pada kolam tersebut dapat dihasilkan gelombang yang merupakan sumber utama dalam membangkitkan listrik melalui mekanisme yang dirancang. Kolam yang digunakan seperti Gambar 3.14. dibawah ini.



Gambar 3.14 Kolam Simulator Gelombang Laut

2. Model Mekanisme PLTGL

Dalam dilakukannya pengujian tentunya menggunakan mekanisme yang telah dirancang yakni model mekanisme PLTGL Ponton Single Pendulum seperti Gambar 3.15 dimana pada model mekanisme ini terdiri atas komponen utama yakni ponton yang terkena gelombang laut mengakibatkan pendulum berputar dan diteruskan ke *gearbox* sebelum masuk ke generator, sehingga dapat menghasilkan listrik.



Gambar 3.15 Model Mekanisme PLTGL Ponton *Single Pendulum*

3. *Digital Storage Oscilloscope*

Untuk merekam data pada pengujian ini digunakan *Digital Storage Oscilloscope* dengan merk UNI-T UT2062C, keluaran dari alat ini ialah data tegangan yang dihasilkan oleh model mekanisme PLTGL-PSP. Data tersebut berupa grafik voltase bangkitan induksi elektromagnetik terhadap waktu. *Digital Storage Oscilloscope* dapat dilihat pada Gambar 3.16.

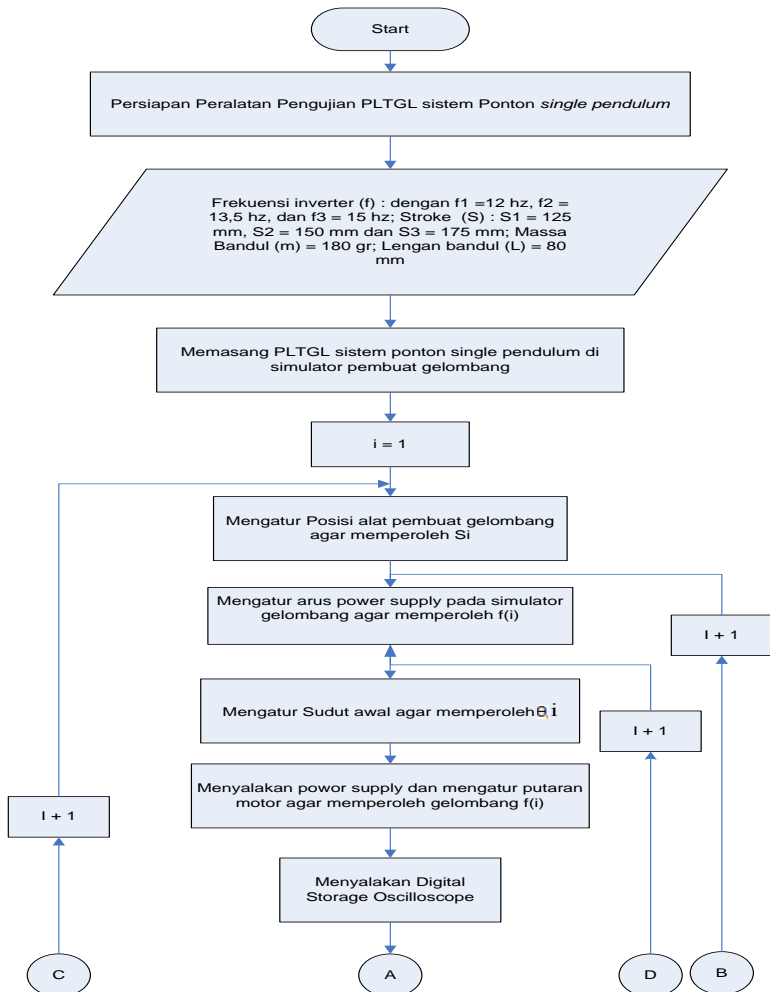


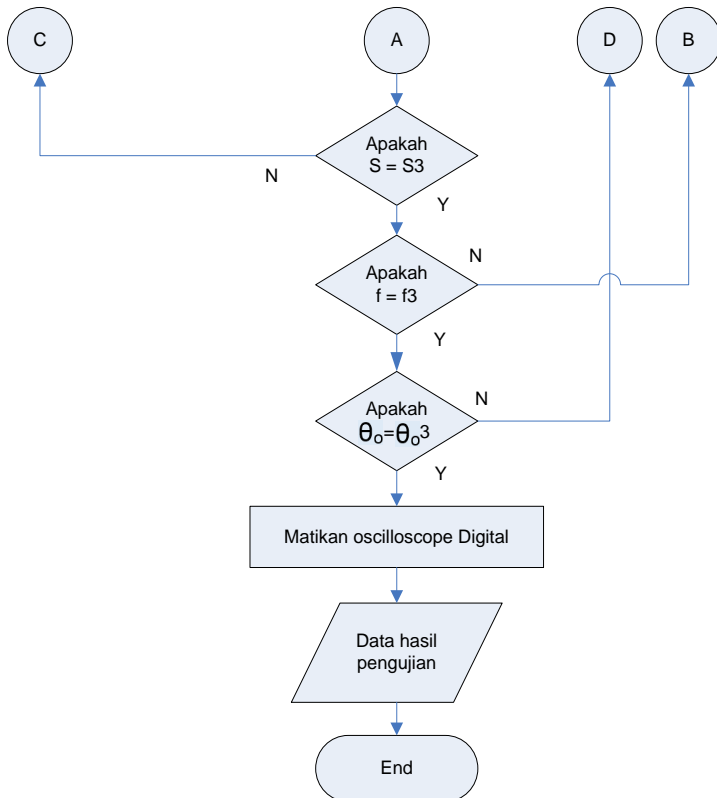
Gambar 3.16 *Digital Storage Oscilloscope*



3.3.2 Flowchart Pengujian

Langkah-langkah dalam mengambil data pengujian Model Mekanisme PLTGL-PSP dapat disajikan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 3.17.





Gambar 3.17 *Flowchart Pengujian*

3.3.3 Penjelasan *Flowchart* Pengujian

1. Persiapan

Tahapan yang paling awal adalah memasang model mekanisme PLTGL-PSP ke mekanisme simulator gelombang. Ponton diikat di sisi kiri dan sisi kanan agar ponton tidak ikut bergerak terbawa gerakan gelombang air. Kabel dari generator



dihubungkan dengan probe pada *Oscilloscope* kemudian menyalakan *Osciloscopnya*. Mempersiapkan data-data yang akan diambil dengan variasi Amplitudo dengan *stroke* sebesar: 125 mm, 150 mm, 175 mm dan variasi frekuensi inverter sebesar 12Hz, 13,5 Hz dan 15 Hz .

2. Pengujian

Mengatur segitiga simulator gelombang laut agar memperoleh ketinggian *stroke* 125 mm, 150 mm dan 175 mm. Menyeting power supply agar putaran motor menghasilkan gelombang air dengan frekuensi inverter 12 Hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz. Pengujian ini dimulai dari *Stroke* 125 mm dengan frekuensi 12 Hz sampai dengan *stroke* 175 mm dengan frekuensi 15 Hz. Setelah menjalankan mekanisme pembangkit gelombang maka data dari hasil setiap variasi pengujian ini di simpan pada *flashdisk* yang terhubung dengan *oscilloscope*.

3. Pengolahan Data

Setelah data dari pengujian diperoleh, tahapan yang selanjutnya adalah melakukan pengolahan data yang diperoleh dari *Oscilloscope* agar hasil yang didapat menginterpretasikan apakah ada pengaruh dari amplitudo dan frekuensi terhadap energi listrik yang dihasilkan.

3.3.4 Lembar Data Pengujian

Lembar data hasil pengujian digunakan untuk mencatat data voltase bangkitan yang dihasilkan oleh generator pada model mekanisme PLTGL ponton *single* pendulum. Besar voltase bangkitan tersebut dapat dilihat pada layar *oscilloscope*. Pada data terdapat tiga variasi ketinggian *stroke* (S) dan tiga variasi frekuensi inverter (F). Lembar data hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2.



Tabel 3.2 Data hasil pengujian

f (Hz)	S (mm)	V (volt)
12	125	F1S1
	150	F1S2
	175	F1S3
13,5	125	F2S1
	150	F2S2
	175	F2S3
15	125	F3S1
	150	F3S2
	175	F3S3

f (Hz)	S (mm)	V (volt)	01	02	03
FA	SB	FASB	FASB01	FASB02	FASB03



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Teoritis

Pada analisa teoritis digunakan persamaan dasar seperti yang telah dijelaskan pada BAB 2 yaitu, persamaan 2.7 mengenai daya yang dibangkitkan oleh gelombang air laut. Adapun persamaan daya gelombang laut adalah sebagai berikut.

$$P_W = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi} \quad (4.1)$$

Dimana,

P_{wave} = wave power

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (9.8 m/s^2)

H = tinggi gelombang (meter)

T = periode

Sedangkan persamaan untuk mencari besar daya listrik adalah sebagai berikut.

$$P_e = P_{\text{mekanik}} \quad (4.2)$$

$$V \times I = \text{Torsi} \times \omega \quad (4.3)$$

Dimana,

T = torsi yang dihasilkan pendulum

g = gaya gravitasi

P = daya

P_m = daya mekanik

P_e = daya elektrik

I = arus



Dibawah ini adalah tabel spesifikasi simulator gelombang air dengan variasi frekuensi inverter dan variasi stroke. Dari simulator ini dihasilkan frekuensi dan amplitudo gelombang air:

Tabel 4.1 Spesifikasi amplitudo yang dihasilkan pembangkit gelombang air

f inverter	f(Hz)	S1 (m)	S2 (m)	S3 (m)
		125	150	175
12	1,08	0,0248	0,0280	0,0350
13,5	1,215	0,0278	0,0356	0,0470
15	1,35	0,0350	0,0410	0,0525

4.1.1 Contoh Perhitungan

Untuk mengetahui dan membandingkan energi bangkitan yang dihasilkan dari model mekanisme PLTGL- PSP ini diperlukan contoh perhitungan. Contoh perhitungan ini bertujuan untuk menjelaskan energi yang dihasilkan dalam penelitian ini dan membandingkan hasil perhitungan daya bangkitan gelombang laut dengan daya hasil dari eksperimental.

Diketahui :

$$\rho = 996,95 \text{ kg/m}^3$$

$$A_{(S=150; F=15)} = 0,041\text{m};$$

$$f = 1,35 \text{ Hz} = 0.74 \text{ sec (periode)}$$

$$A = 0.041 \text{ meter}$$

$$H = 0.082 \text{ meter}$$

$$\pi = 3.1416$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$b = 0,3 \text{ meter}$$



Melalui data Tabel 4.1 ini digunakan untuk mencari besar amplitudo yang dihasilkan oleh simulator gelombang laut.

Ditanya:

a) Daya gelombang laut (P_W)

b) Daya Eksperimen P_{eks}

c) Efisiensi mekanisme

Jawab:

a) Daya gelombang laut (P_W)

$$P_W = \frac{\rho \times g^2 \times H^2 \times periode \times b}{32 \times \pi}$$
$$P_W = \frac{996.95 \frac{kg}{m^3} \times (9.81 \frac{m}{s^2})^2 \times (0.082m)^2 \times 0.74 \text{ sec} \times 0.3 \text{ m}}{32 \times 3.1416} = 1,425 \text{ Watt}$$

b) *Power* yang dihasilkan (P_{eks})

$$P_{eks} = V_{eks} \times I_{eks}$$
$$P_{eks} = 0,1526 \text{ Volt} \times 0,032 \text{ A} = 4,731 \text{ mW}$$

c) Efisiensi Mekanisme

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{P_{eks}}{P_{wave}} \times 100$$
$$\text{Efisiensi (\%)} = 0,398\%$$

4.1.2 Pengaruh Ketinggian *Stroke* terhadap Daya Gelombang Air yang Dihasilkan.

Pada penelitian ini menitik beratkan pada pengaruh ketinggian *stroke* pada simulator gelombang air dan frekuensi inverter terhadap energi listrik yang dihasilkan. Dibawah ini adalah

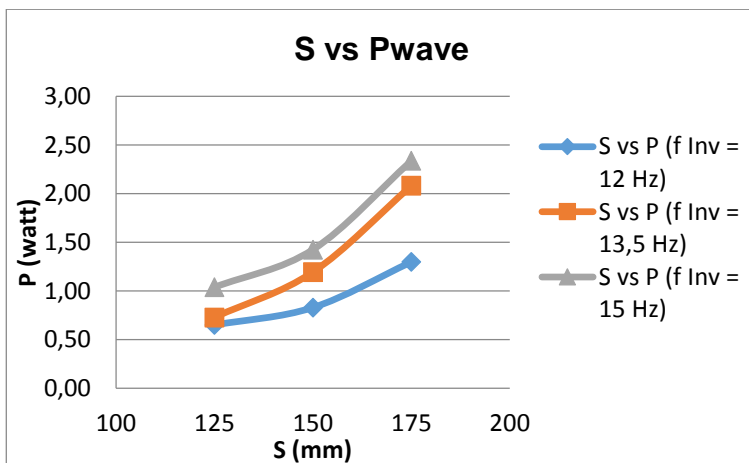


tabel perhitungan energi listrik yang dihasilkan oleh variasi ketinggian *stroke* pada saat frekuensi inverter tetap.

Tabel 4.2 Data hasil perhitungan daya gelombang air dengan variasi ketinggian *stroke*

F Inv (Hz)	S (mm)	A (m)	P Wave (Watt)
12	125	0,0248	0,65
	150	0,0280	0,83
	175	0,0350	1,30
13,5	125	0,0278	0,73
	150	0,0356	1,19
	175	0,0470	2,08
15	125	0,0350	1,04
	150	0,0410	1,43
	175	0,0525	2,34

Dari tabel diatas diperoleh grafik ketinggian *stroke* vs Daya gelombang (Pwave) dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik ketinggian *stroke* vs daya gelombang air



Dari Gambar 4.1 dapat dilihat *trend* daya gelombang air semakin meningkat. Semakin tinggi *stroke* yang digunakan pada pembangkit gelombang air maka semakin besar daya gelombang air. Dari perhitungan diperoleh dengan *stroke* terkecil menghasilkan daya gelombang sebesar 0,65 watt pada ketinggian *stroke* 125 mm frekuensi inverter 12 Hz dan *stroke* yang terbesar menghasilkan daya gelombang sebesar 2,34 watt pada ketinggian *stroke* 175 mm frekuensi 15 Hz.

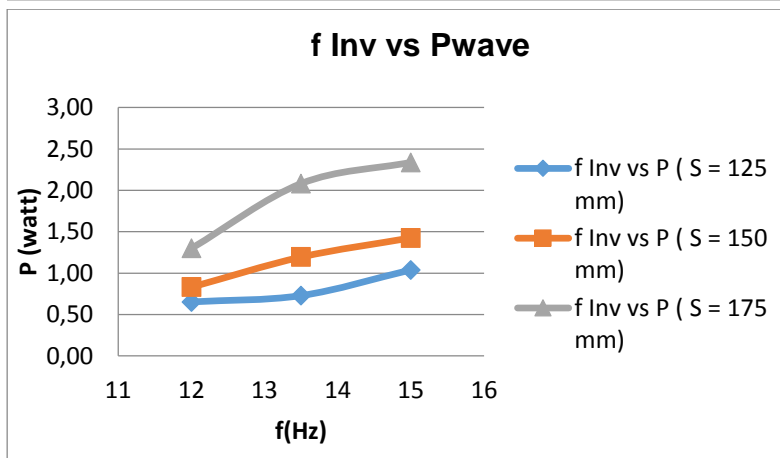
4.1.3 Pengaruh Frekuensi Inverter terhadap Daya Gelombang Air yang Dihasilkan

Pembahasan berikut ini adalah pengaruh variasi frekuensi inverter terhadap daya gelombang air dengan ketinggian *stroke*. Tabel 4.3 adalah tabel perhitungan daya gelombang air yang dihasilkan oleh variasi frekuensi inverter pada saat ketinggian *stroke* tetap.

Tabel 4.3 Data hasil perhitungan daya gelombang air dengan variasi frekuensi inverter.

S (mm)	f Inv(Hz)	A (m)	P Wave (Watt)
125	12	0,0248	0,65
	13,5	0,0278	0,73
	15	0,0350	1,04
150	12	0,0280	0,83
	13,5	0,0356	1,19
	15	0,0410	1,43
175	12	0,0350	1,30
	13,5	0,0470	2,08
	15	0,0525	2,34

Dari tabel diatas diperoleh grafik frekuensi inverter vs daya gelombang laut dibawah ini.



Gambar 4.2 Grafik frekuensi inverter vs daya gelombang air

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat *trend* daya gelombang air semakin meningkat. Semakin tinggi frekuensi inverter yang digunakan pada pembangkit gelombang air maka semakin besar daya gelombang air. Dari perhitungan diperoleh dengan frekuensi inverter terkecil menghasilkan daya sebesar 0,65 watt pada ketinggian *stroke* 125 mm frekuensi inverter 12 Hz dan frekuensi inverter terbesar menghasilkan daya sebesar 2,34 watt pada ketinggian *stroke* 175 mm frekuensi inverter 15 Hz.

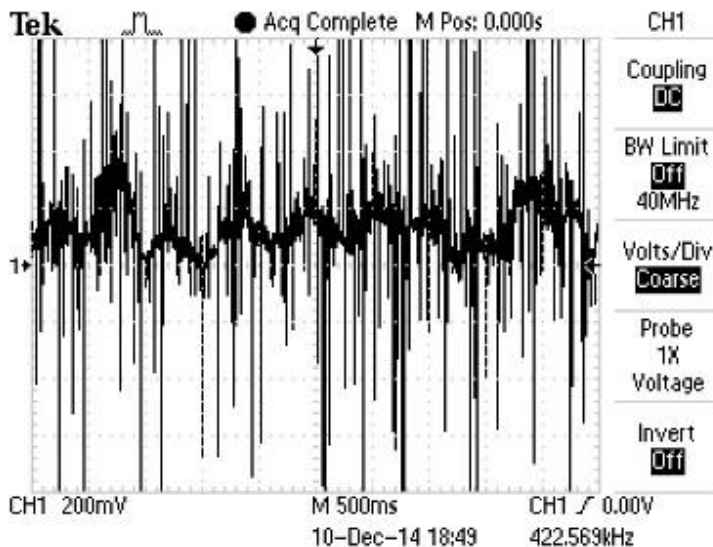
4.2 Analisa Eksperimen

4.2.1 Pengolahan Data

Pengambilan data eksperimen dilakukan dengan menggunakan *digital storage oscilloscope* sebagai alat ukur voltase bangkitan yang dihasilkan oleh generator pada PLTGL sistem ponton *single pendulum*. Data yang diperoleh dari *Oscilloscope* tersimpan pada *flashdisk* yang terpasang pada *Oscilloscope* tersebut.



Dengan variasi ketinggian *stroke* simulator gelombang (3 variasi *stroke*) dan variasi frekuensi dari inverter (3 variasi frekuensi) menghasilkan sebanyak 9 data. Data tersebut diolah dengan menggunakan *software Matlab*. Data yang diperoleh dipindah ke *matlab* kemudian di filter dengan menggunakan *filter design and analysis tool*. Data yang telah difilter dengan *fdtool* kemudian di smoothing dengan menggunakan *curve fitting tool* agar grafik yang diperoleh dari *Oscilloscope* lebih mudah dianalisis.



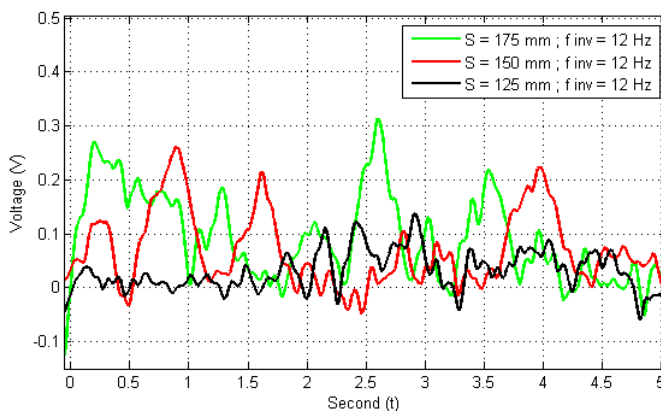
Gambar 4.3 Contoh grafik pada *Oscilloscope* dengan variasi ketinggian *stroke* pembangkit gelombang pada saat 175 mm

Dari curva yang didapat dengan menggunakan *curve fitting tool* pada *matlab*, nilai RMS (*root mean square*) juga diperoleh. Nilai RMS ini dibandingkan dengan daya gelombang yang kemudian dihitung efisiensi mekanisme PLTGL sistem Ponton *Single Pendulum*.



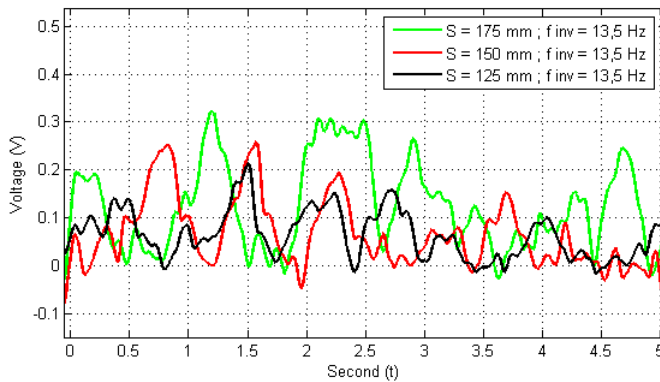
4.2.2 Pengaruh Ketinggian *Stroke* terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan

Pada eksperimen ini simulator gelombang laut disetting pada frekuensi inverter tetap, yang divariasikan pengujian ini adalah variasi ketinggian *stroke*. Ketinggian *stroke* yang divariasikan ada tiga yaitu 125 mm, 150 mm, dan 175 mm. Dibawah ini adalah grafik yang diperoleh dari *Oscilloscope* dengan variasi Ketinggian *Stroke*:



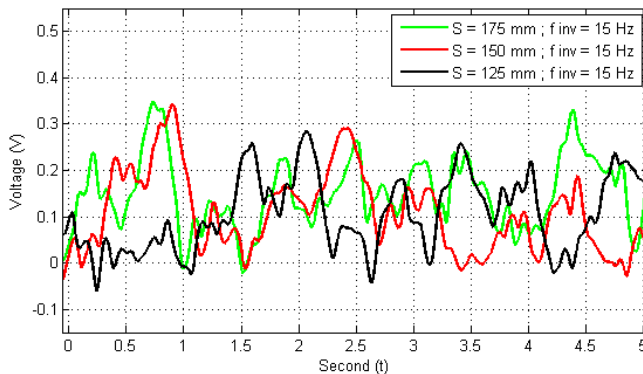
Gambar 4.4 Voltase bangkitan pada saat frekuensi inverter 12 Hz dengan variasi ketinggian *stroke* 125 mm, 150 mm, dan 175 mm

Dari grafik pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin besar ketinggian *stroke* pada simulator gelombang maka daya yang dihasilkan semakin besar pula. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi *stroke* maka semakin tinggi juga amplitudo yang dihasilkan. Besar amplitudo akan mempengaruhi besar daya gelombang air, sehingga voltase bangkitan dari generator semakin besar. Hal ini dapat dilihat *vrms* masing-masing pengujian dimana pada *stroke* 125 mm sebesar 0,077volt, *stroke* 150 mm sebesar 0,1136 volt, dan *stroke* 175 mm sebesar 0,1432 volt.



Gambar 4.5 Voltase bangkitan pada saat frekuensi inverter 13,5 Hz dengan variasi ketinggian *stroke* 125 mm, 150 mm, dan 175 mm

Dari grafik pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa semakin tinggi ketinggian *stroke* pada simulator gelombang maka daya yang dihasilkan semakin besar pula. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi *stroke* maka semakin tinggi juga amplitudo yang dihasilkan. Besar amplitudo akan mempengaruhi besar daya gelombang air, sehingga voltase bangkitan dari generator semakin besar. Hal ini dapat dilihat rms masing-masing pengujian dimana pada *stroke* 125 mm sebesar 0,0964 volt, *stroke* 150 mm sebesar 0,1136 volt, dan *stroke* 175 mm sebesar 0,1695 volt.

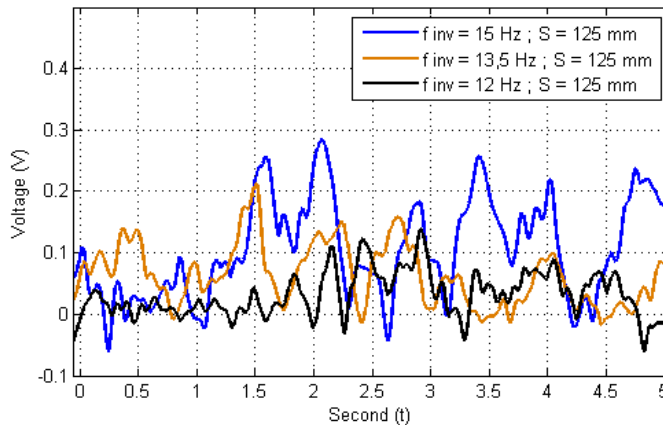


Gambar 4.6 Voltase bangkitan pada saat frekuensi inverter 15 Hz dengan variasi ketinggian *stroke* 125 mm, 150 mm, dan 175 mm

Dari grafik pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa semakin tinggi ketinggian *stroke* pada simulator gelombang maka daya yang dihasilkan semakin besar pula. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi *stroke* maka semakin tinggi juga amplitudo yang dihasilkan. Besar amplitudo akan mempengaruhi besar daya gelombang air, sehingga voltase bangkitan dari generator semakin besar. Hal ini dapat dilihat rms masing-masing pengujian dimana pada *stroke* 125 mm sebesar 0,1477 volt, *stroke* 150 mm sebesar 0,1526 volt, dan *stroke* 175 mm sebesar 0,1862 volt.

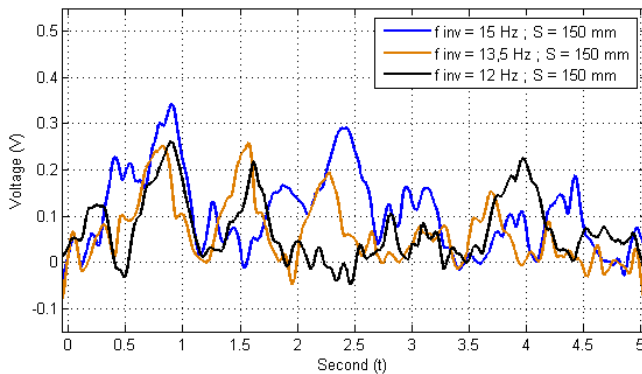
4.2.3 Pengaruh Frekuensi Inverter terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan

Pada eksperimen ini pembangkit gelombang laut disetting pada ketinggian *stroke* tetap, yang divariasikan pengujian ini adalah variasi frekuensi pada inverter. Besar frekuensi yang divariasikan pada inverter ada tiga 12 Hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz.



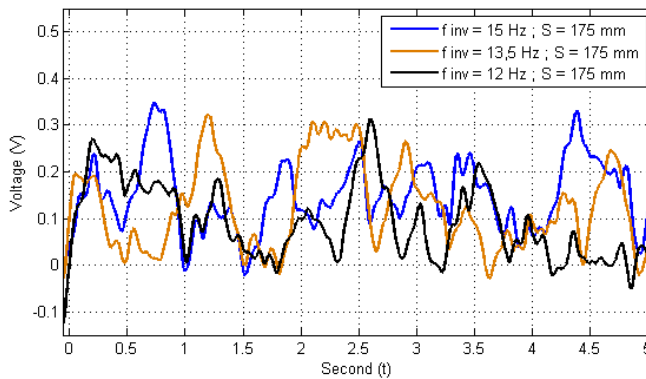
Gambar 4.7 Voltase bangkitan pada ketinggian *stroke* 125 mm dengan variasi frekuensi inverter 12 Hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz.

Dari grafik pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa semakin tinggi frekuensi pada inverter maka daya yang dihasilkan semakin besar pula. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi frekuensi inverter maka semakin tinggi juga amplitudo gelombang air yang dihasilkan. Besar amplitudo akan mempengaruhi besar daya gelombang air, sehingga voltase bangkitan dari generator semakin besar. Hal ini dapat dilihat *vrms* masing-masing pengujian pada saat ketinggian *stroke* 125 mm dengan frekuensi inverter 12 Hz sebesar 0,077 volt, frekuensi inverter 13,5 Hz sebesar 0,00964 volt, dan frekuensi inverter 15 Hz sebesar 0,1477 volt.



Gambar 4.8 Voltase bangkitan pada ketinggian *stroke* 150 mm dengan variasi frekuensi inverter 12 Hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz

Dari grafik pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa semakin tinggi frekuensi pada inverter maka daya yang dihasilkan semakin besar pula. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi frekuensi inverter maka semakin tinggi juga amplitudo gelombang air yang dihasilkan. Besar amplitudo akan mempengaruhi besar daya gelombang air, sehingga voltase bangkitan dari generator semakin besar. Hal ini dapat dilihat *vrms* masing-masing pengujian pada saat ketinggian strok 150 mm dengan frekuensi inverter 12 Hz sebesar 0,08 volt, frekuensi inverter 13.5 Hz sebesar 0,1136 volt, dan frekuensi inverter 15 Hz sebesar 0,1526 volt.

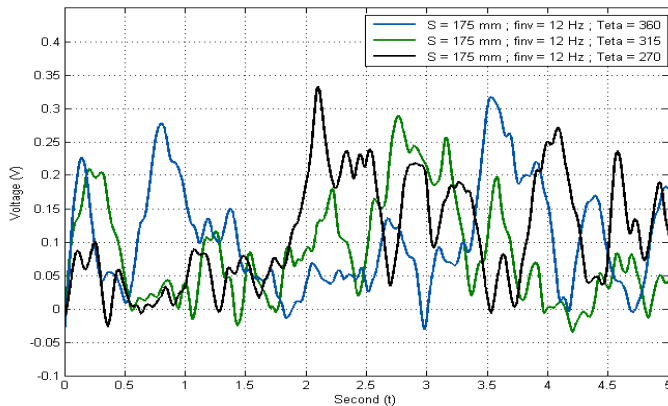


Gambar 4.9 Voltase bangkitan pada ketinggian *stroke* 175 mm dengan variasi frekuensi inverter 12 Hz, 13.5 Hz, dan 15 Hz

Dari grafik pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa semakin tinggi frekuensi pada inverter maka daya yang dihasilkan semakin besar pula. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi frekuensi inverter maka semakin tinggi juga amplitudo gelombang air yang dihasilkan. Besar amplitudo akan mempengaruhi besar daya gelombang air, sehingga voltase bangkitan dari generator semakin besar. Hal ini dapat dilihat *vrms* masing-masing pengujian pada saat ketinggian *stroke* 175 mm dengan frekuensi inverter 12 Hz sebesar 0,1432 volt, frekuensi inverter 13.5 Hz sebesar 0,1695 volt, dan frekuensi inverter 15 Hz sebesar 0,1862 volt

4.2.4 Pengaruh Eksitasi Sudut Awal Pendulum terhadap Respon Energi Listrik yang Dihasilkan

Pada eksperimen ini pembangkit gelombang laut disetting pada ketinggian *stroke* tetap, dan frekuensi tetap, yang divariasikan pengujian ini adalah variasi sudut awalan pada pendulum. Besar sudut awal yang divariasikan pada pendulum ada tiga 270° , 315° , dan 360° .



Gambar 4.10 Voltase bangkitan pada ketinggian *stroke* 175 mm dan frekuensi inverter 12 Hz, dengan variasi sudut awal 270°, 315°, dan 360°.

Dari grafik pada Gambar 4.10 diatas bahwa semakin besar sudut awal pada pendulum maka daya yang dihasilkan semakin besar pula. Hal ini disebabkan karena semakin besar sudut awal maka torsi yang dihasilkan pendulum semakin besar. Hal ini dapat dilihat vrms masing-masing pengujian pada saat sudut awal 270° sebesar 0,1456 volt, sudut awal 315° sebesar 0,16 volt, dan 360° sebesar 0,1713 volt.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Pengaruh Ketinggian *Stroke* terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan

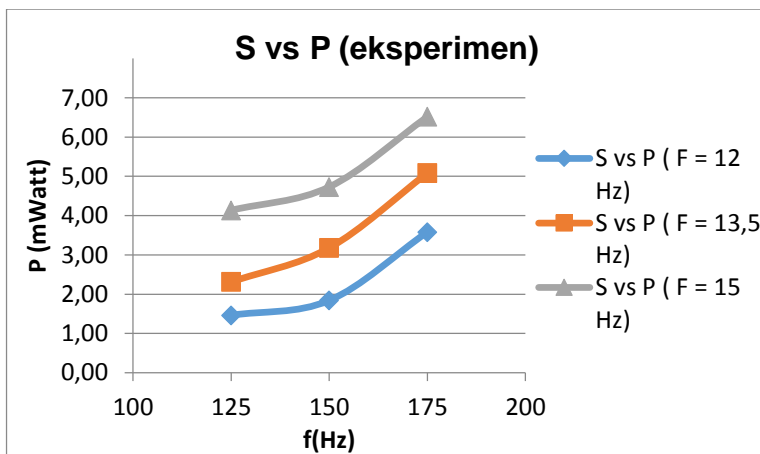
Tahapan selanjutnya adalah membandingkan data hasil pengujian secara eksperimental dengan data hasil perhitungan daya gelombang air secara teoritis. Dengan membandingkan nilai daya eksperimen setiap pengujian variasi pengaruh ketinggian *stroke* dan nilai perhitungan simulator gelombang air yang diperoleh secara teoritis didapatkanlah efisiensi dari mekanisme pembangkit



listrik tenaga gelombang air. Tabel 4.4 dibawah adalah tabel perhitungan daya gelombang kolam secara teoritis dan daya eksperimen dari pengujian pada variasi ketinggian *stroke*.

Tabel 4.4 Data daya yang dihasilkan variasi ketinggian *stroke*

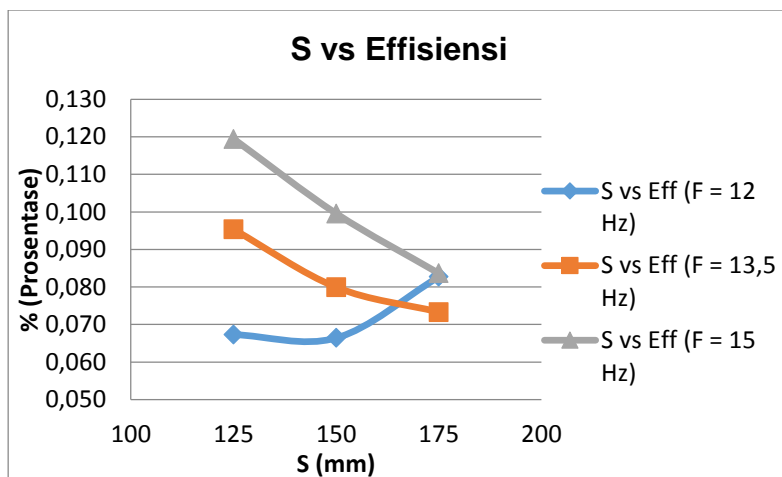
F Inv (Hz)	S (mm)	A (m)	P Wave (Watt)	P Exp (mWatt)	Eff (%)
12	125	0,0248	0,65	1,46	0,224
	150	0,0280	0,83	1,84	0,221
	175	0,0350	1,30	3,58	0,276
13,5	125	0,0278	0,73	2,31	0,318
	150	0,0356	1,19	3,18	0,266
	175	0,0470	2,08	5,09	0,244
15	125	0,0350	1,04	4,14	0,398
	150	0,0410	1,43	4,73	0,332
	175	0,0525	2,34	6,52	0,279



Gambar 4.11 Daya eksperimen dengan variasi ketinggian *stroke* 125 mm, 150 mm, dan 175 mm



Dari Gambar 4.1 dan 4.11 dapat dilihat bahwa *trend* grafik semakin meningkat baik secara teoritis maupun secara eksperimen. Semakin tinggi *stroke* pada simulator gelombang yang diberikan, yaitu 125 mm, 150 mm, dan 175 mm semakin besar pula amplitudo gelombang yang dihasilkan. Besarnya amplitudo mempengaruhi besar daya gelombang air, dan besar daya gelombang air mempengaruhi sudut kemiringan ponton, semakin besar sudut kemiringan ponton maka torsi yang dihasilkan pendulum semakin besar, sehingga semakin besar daya gelombang air, maka semakin besar pula daya bangkitan dari generator.



Gambar 4.12 Effisiensi mekanisme dengan variasi ketinggian *stroke* 125 mm, 150 mm, dan 175 mm

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa secara keseluruhan *trend* grafik menurun, semakin besar *stroke* maka efisiensi mekanisme semakin turun, hal ini terjadi karena semakin besar daya gelombang pengaruh *stroke* yg dihasilkan tetapi daya yang dihasilkan mekanisme tidak sebanding. Tetapi pada frekuensi inverter 12 Hz dan *stroke* 175 mm, mengalami kenaikan efisiensi.



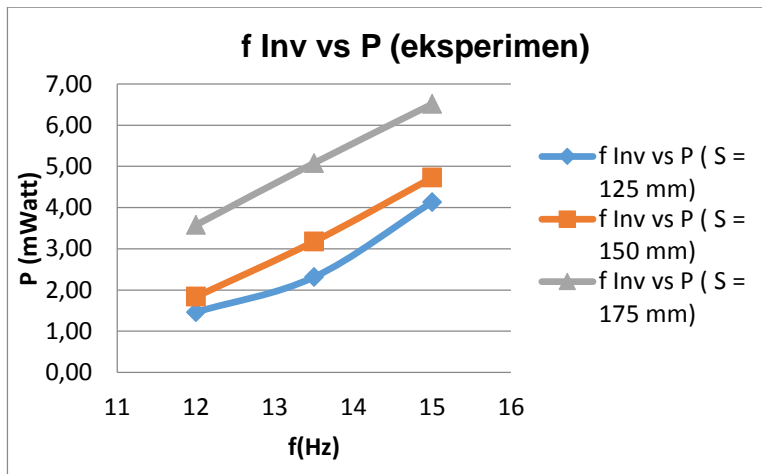
Hal ini terjadi karena pada amplitudo dan frekuensi gelombang tersebut ponton bergerak stabil sehingga pendulum berputar optimal. Dari tabel 4.4 daya gelombang air tertinggi 2,34 watt pada frekuensi inverter 15 Hz dan tinggi *stroke* 175 mm, sedangkan daya yang dihasilkan dari eksperimental yang tertinggi adalah 6,517 mWatt. Effisiensi mekanisme tertinggi terjadi pada saat ketinggian *stroke* 125 mm dan frekuensi inverter 15 Hz sebesar 0,398 %.

4.3.2 Pengaruh Frekuensi Inverter terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan

Tahapan berikutnya adalah membandingkan nilai daya eksperimen setiap pengujian variasi pengaruh frekuensi inverter dan nilai perhitungan daya gelombang air yang diperoleh secara teoritis didapatlah efisiensi mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang air, Tabel 4.5 dibawah adalah tabel perhitungan daya secara teoritis dan daya hasil dari pengujian pada variasi frekuensi inverter:

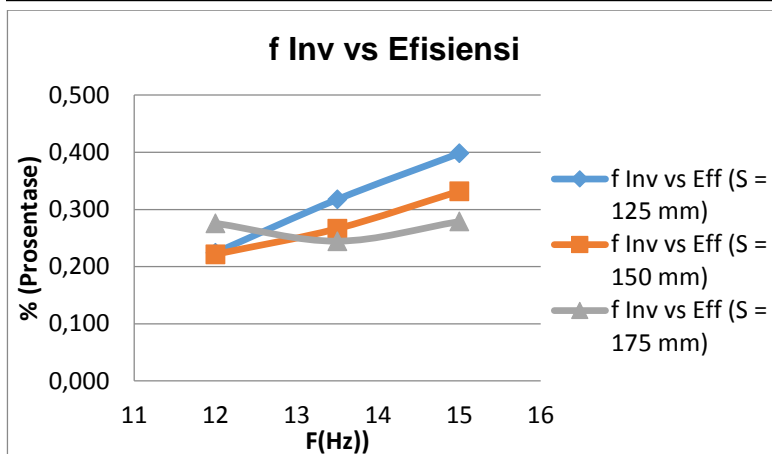
Tabel 4.5 Data daya yang dihasilkan dengan variasi frekuensi inverter

S (mm)	F (Hz)	A (m)	P Wave (Watt)	P Exp (mWatt)	Eff (%)
125	12	0,0248	0,65	1,46	0,224
	13,5	0,0278	0,73	2,31	0,318
	15	0,0350	1,04	4,14	0,398
150	12	0,0280	0,83	1,84	0,221
	13,5	0,0356	1,19	3,18	0,266
	15	0,0410	1,43	4,73	0,332
175	12	0,0350	1,30	3,58	0,276
	13,5	0,0470	2,08	5,09	0,244
	15	0,0525	2,34	6,52	0,279



Gambar 4.13 Daya bangkitan yang dihasilkan secara eksperimen pada variasi frekuensi inverter 12 Hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz

Dari Gambar 4.2 dan 4.13 dapat dilihat bahwa *trend* grafik semakin meningkat baik secara teoritis maupun secara eksperimen. Semakin tinggi frekuensi pada simulator gelombang yang diberikan, yaitu 12 Hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz. semakin besar pula daya gelombang air, dan besar daya gelombang air mempengaruhi sudut kemiringan ponton, semakin besar sudut kemiringan ponton maka torsi yang dihasilkan pendulum semakin besar, sehingga semakin besar daya gelombang air, maka semakin besar pula daya bangkitan dari generator.

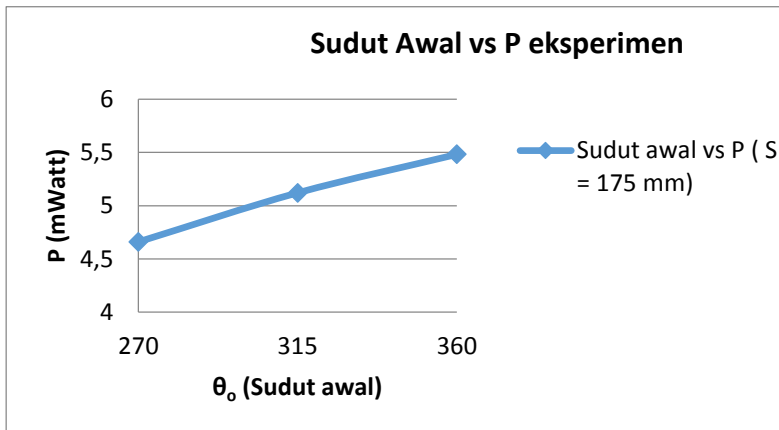


Gambar 4.14 Effisiensi mekanisme dengan variasi frekuensi inverter 12 Hz, 13,5 Hz, dan 15 Hz

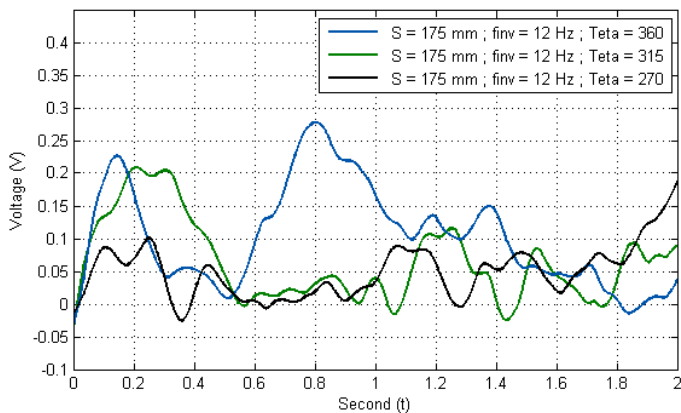
Dari Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa secara keseluruhan *trend* grafik semakin meningkat, semakin besar frekuensi maka efisiensi mekanisme semakin besar, hal ini terjadi karena semakin besar frekuensi maka semakin besar daya gelombang, Tetapi pada *stroke* 175 mm, mengalami perbedaan *trend* dimana pada awal mengalami penurunan efisiensi dari frekuensi inverter 12 Hz ke 13,5 Hz dan kemudian baru mengalami kenaikan efisiensi pada frekuensi inverter 15 Hz. Hal ini terjadi karena Hal ini terjadi karena pada amplitudo dan frekuensi gelombang tersebut ponton bergerak lebih stabil sehingga mekanisme dapat menyerap energi lebih optimal. Dari tabel 4.5 daya gelombang yang didapat dari perhitungan yang tertinggi 2,34 watt pada frekuensi inverter 15 Hz dan tinggi *stroke* 175 mm, sedangkan daya yang dihasilkan dari eksperimental yang tertinggi adalah 6,52 mWatt. Effisiensi mekanisme tertinggi pada saat ketinggian *stroke* 125 mm dan frekuensi inverter 15 Hz sebesar 0,398 %.



4.3.3 Pengaruh Eksitasi Sudut Awal terhadap Respon Energi Listrik yang Dihasilkan



Gambar 4.15 Daya bangkitan yang dihasilkan secara eksperimen pada variasi sudut awal pendulum 270°, 315° dan 360°.



Gambar 4.16 Voltase bangkitan yang dihasilkan secara eksperimen pada variasi sudut awal 270°, 315°, dan 360°.



Dari Gambar 4.15 *trend* grafik semakin meningkat. semakin besar sudut awal maka semakin besar pula daya bangkitan yang dihasilkan. Dari grafik Gambar 4.16 juga dapat dilihat pada respon awal kenaikan tegangan pada sudut awal pendulum 360° puncak energi bangkitan mencapai 0,23 Volt pada $t=0,15$ t, pada sudut awal pendulum 315° puncak energi bangkitan mencapai 0,21 Volt pada $t=0,2$ t, sedangkan pada sudut awal 270° puncak energi bangkitan mencapai 0,08 Volt pada $t=0,12$ t, ini membuktikan bahwa semakin besar sudut awal pendulum semakin besar energi bangkitan awal dari generator.

4.4 Aplikasi PLTGL metode Ponton *Single Pendulum*

Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut metode Ponton *Single Pendulum* ini disimulasikan pada pembangkit gelombang skala lab yang dapat menghasilkan frekuensi gelombang air sebesar 1 - 1,5 Hz. Untuk amplitudo yang disimulasikan dapat mencapai ketinggian 0,105 m. Sedangkan kondisi riil, ketinggian gelombang laut pada laut Jawa memiliki ketinggian hingga 1 m dan frekuensi gelombang laut hanya sampai 0,21 Hz.

Dengan membandingkan kondisi riil di laut Jawa dengan simulator gelombang maka dapat ditarik kesimpulan bahwa rasio dari kondisi lab dengan kondisi riil adalah 15 :1. Dari rasio tersebut, dapat diasumsikan bahwa PLTGL sistem Ponton *Single Pendulum* ini jika pada kondisi riil dapat menghasilkan daya listrik sebesar Watt. Dibawah ini adalah tabel daya yang dihasilkan antara kondisi percobaan skala lab dan kondisi riil.



Tabel 4.6 Hasil daya yang dihasilkan antara skala laboratorium dan skala riil

Mekanisme skala Lab					Mekanisme skala riil				
A (m)	mp (kg)	mk (kg)	L (m)	P (mW)	A (m)	mp (kg)	mk (kg)	L (m)	P (W)
0,025	0,18	2,35	0,08	1,46	0,372	2,7	35,25	1,2	25,33
0,028	0,18	2,35	0,08	1,84	0,420	2,7	35,25	1,2	31,86
0,035	0,18	2,35	0,08	3,58	0,525	2,7	35,25	1,2	61,98
0,028	0,18	2,35	0,08	2,31	0,417	2,7	35,25	1,2	45,06
0,036	0,18	2,35	0,08	3,18	0,534	2,7	35,25	1,2	61,96
0,047	0,18	2,35	0,08	5,09	0,705	2,7	35,25	1,2	99,05
0,035	0,18	2,35	0,08	4,14	0,525	2,7	35,25	1,2	89,50
0,041	0,18	2,35	0,08	4,73	0,615	2,7	35,25	1,2	102,38
0,053	0,18	2,35	0,08	6,52	0,788	2,7	35,25	1,2	141,04



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1 Kesimpulan

Dari eksperimen yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari pengujian model mekanisme PLTGL-PSP terhadap variasi frekuensi dan amplitudo gelombang, mekanisme dapat bergerak stabil dengan diindikasikan pendulum dapat berputar kontinyu.
2. Dari pengujian model mekanisme PLTGL-PSP menyatakan bahwa energi listrik juga dipengaruhi oleh ketinggian *stroke* dan frekuensi gelombang. Energi listrik terbesar 6,52 mWatt dihasilkan oleh Model mekanisme PLTGL-PSP dengan ketinggian *stroke* 175 mm dan frekuensi inverter 15 Hz.
3. Dari model mekanisme PLTGL-PSP yang dibangun ini mempunyai efisiensi maksimal sebesar 0,398% untuk pengujian ketinggian *stroke* 125 mm dan frekuensi inverter 12 Hz.
4. Posisi sudut awal pendulum mempunyai pengaruh terhadap besar energi listrik yang dihasilkan. Dimana energi listrik terbesar dihasilkan dengan meletakkan pendulum pada sudut 360°.

1.2 Saran

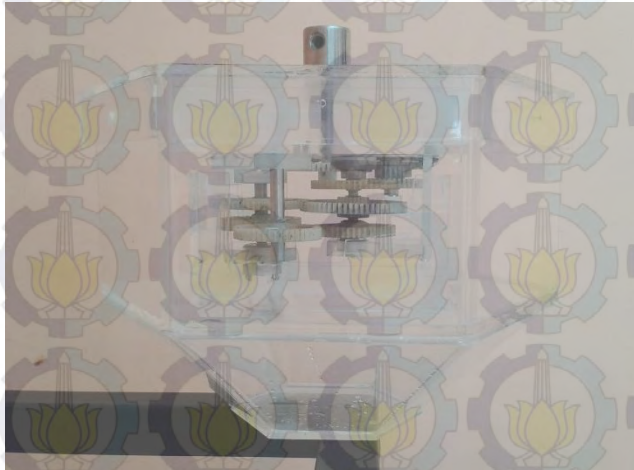
Adapun saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya dengan tema yang sama, agar diperoleh hasil yang baik, yaitu :

1. Untuk mendesain ponton yang optimal diperlukan sambungan yang anti bocor agar waktu pengambilan data dapat maksimal.
2. Diperlukan penyempurnaan pada simulator pembangkit gelombang yang dapat mengkondisikan gelombang laut seperti asli.



3. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat merumuskan gerak *pitching* dari mekanisme.

LAMPIRAN PONTON



Gambar Lampiran 1 Ponton



Gambar Lampiran 2 Gear penyearah putaran



Gambar Lampiran 3 Lengan pendulum 8 cm



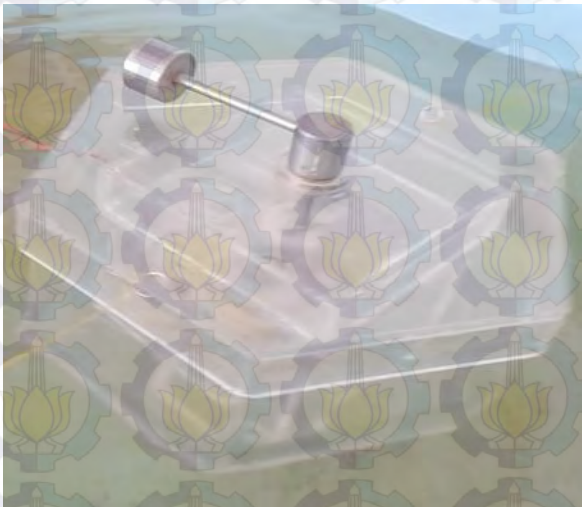
Gambar Lampiran 4 Pendulum 180 gr



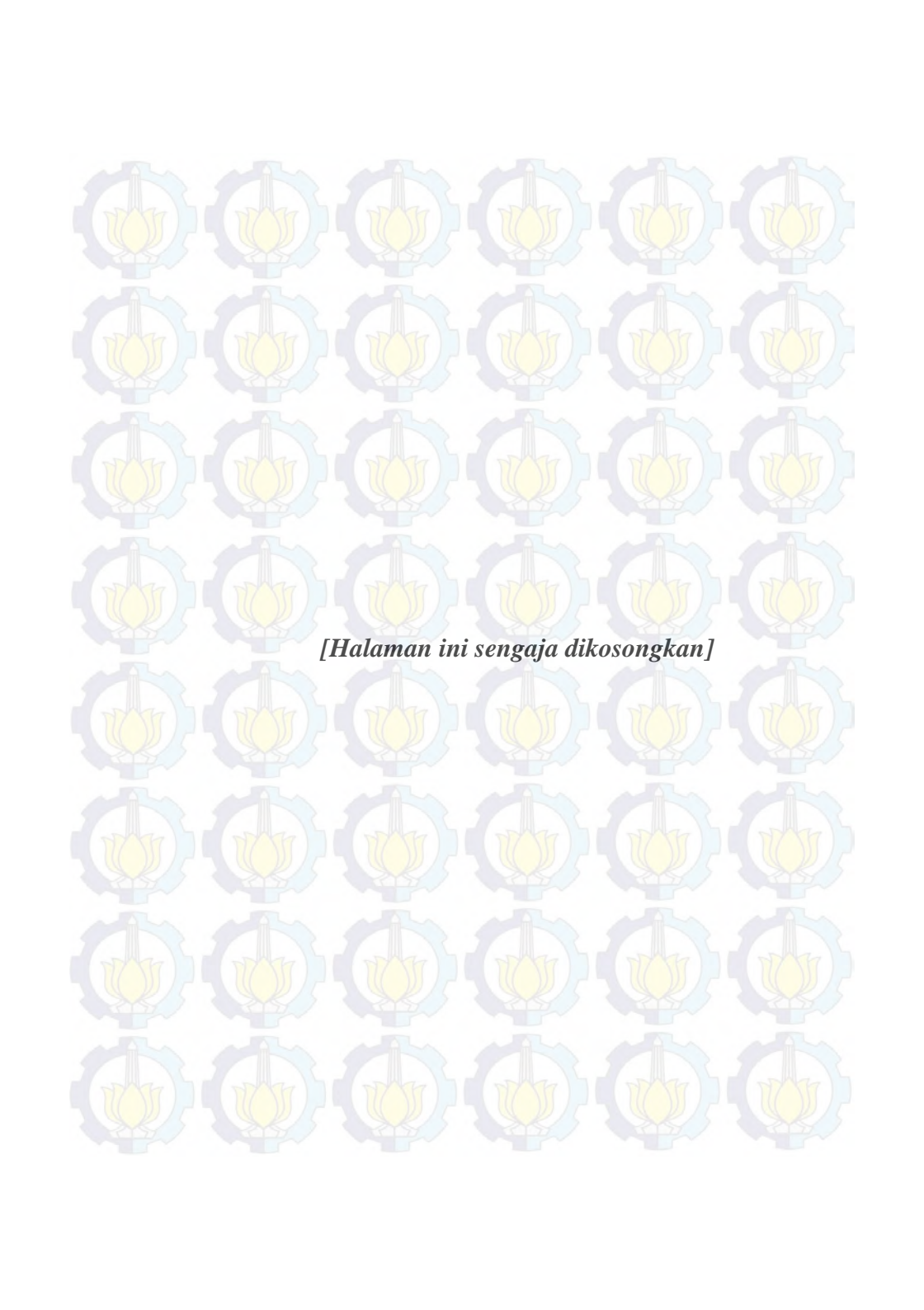
Gambar Lampiran 5 Motor DC



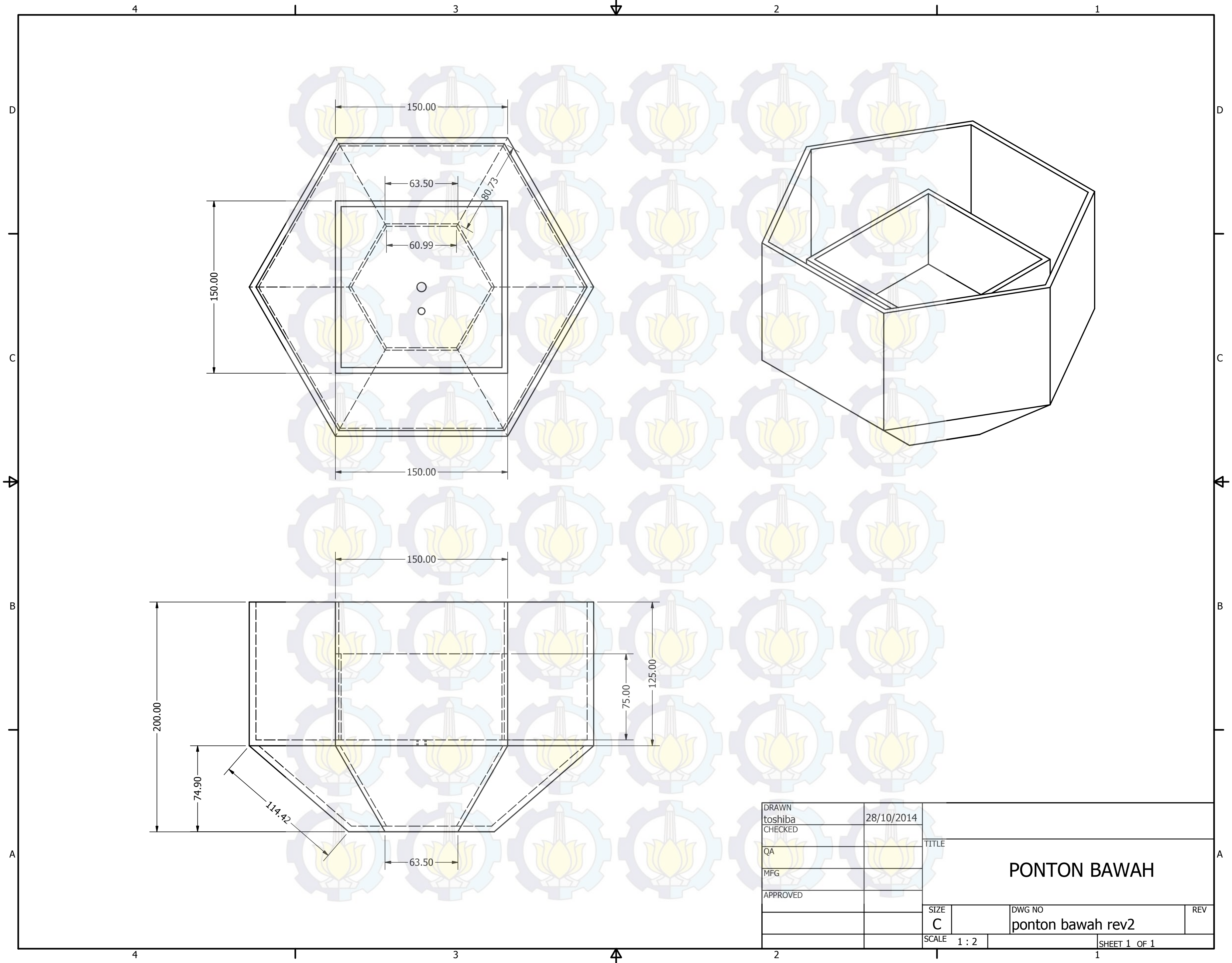
Gambar Lampiran 6 Ponton tanpa pendulum



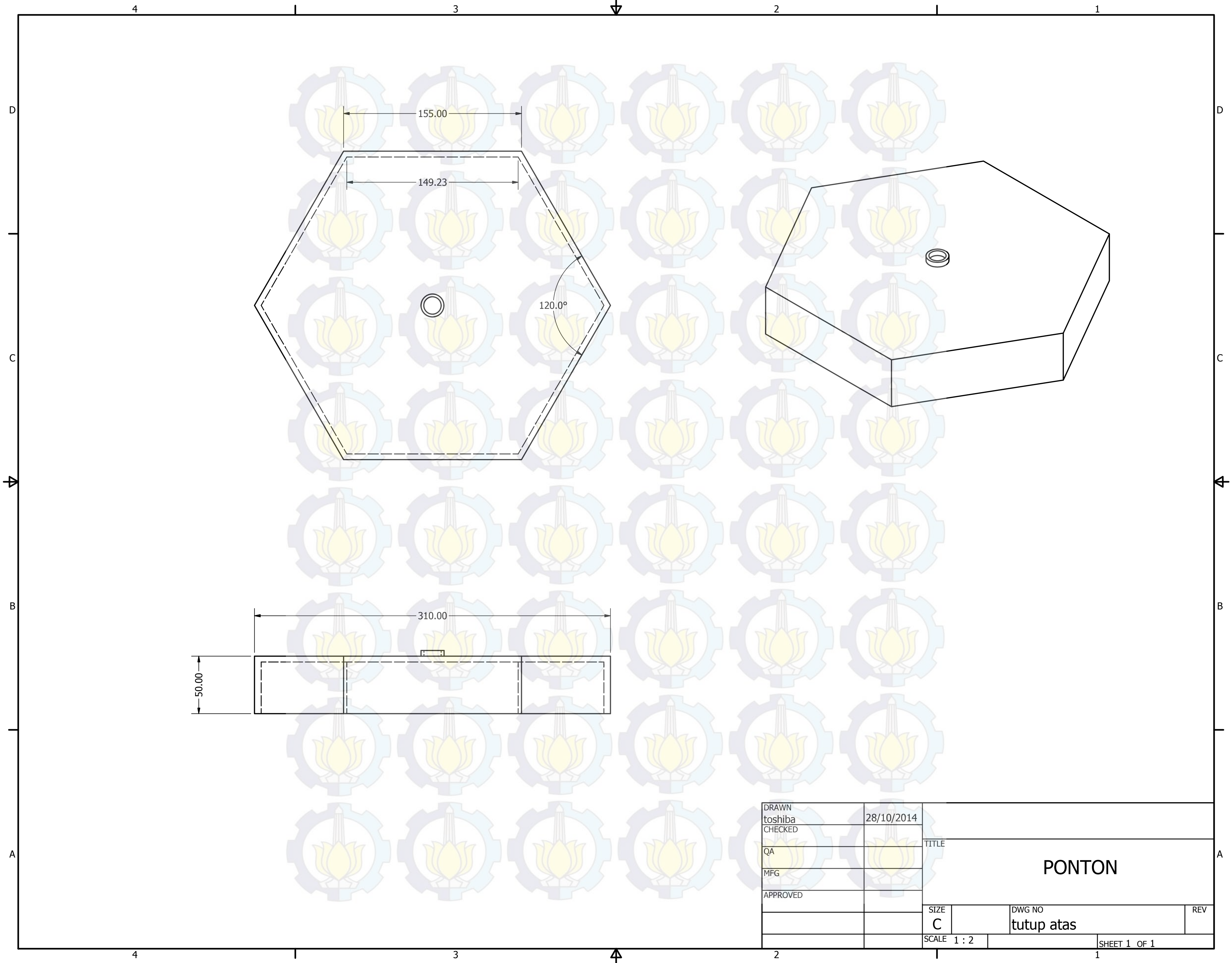
Gambar Lampiran 7 Ponton Dengan panjang lengan 8 cm dan massa pendulum 180 gr



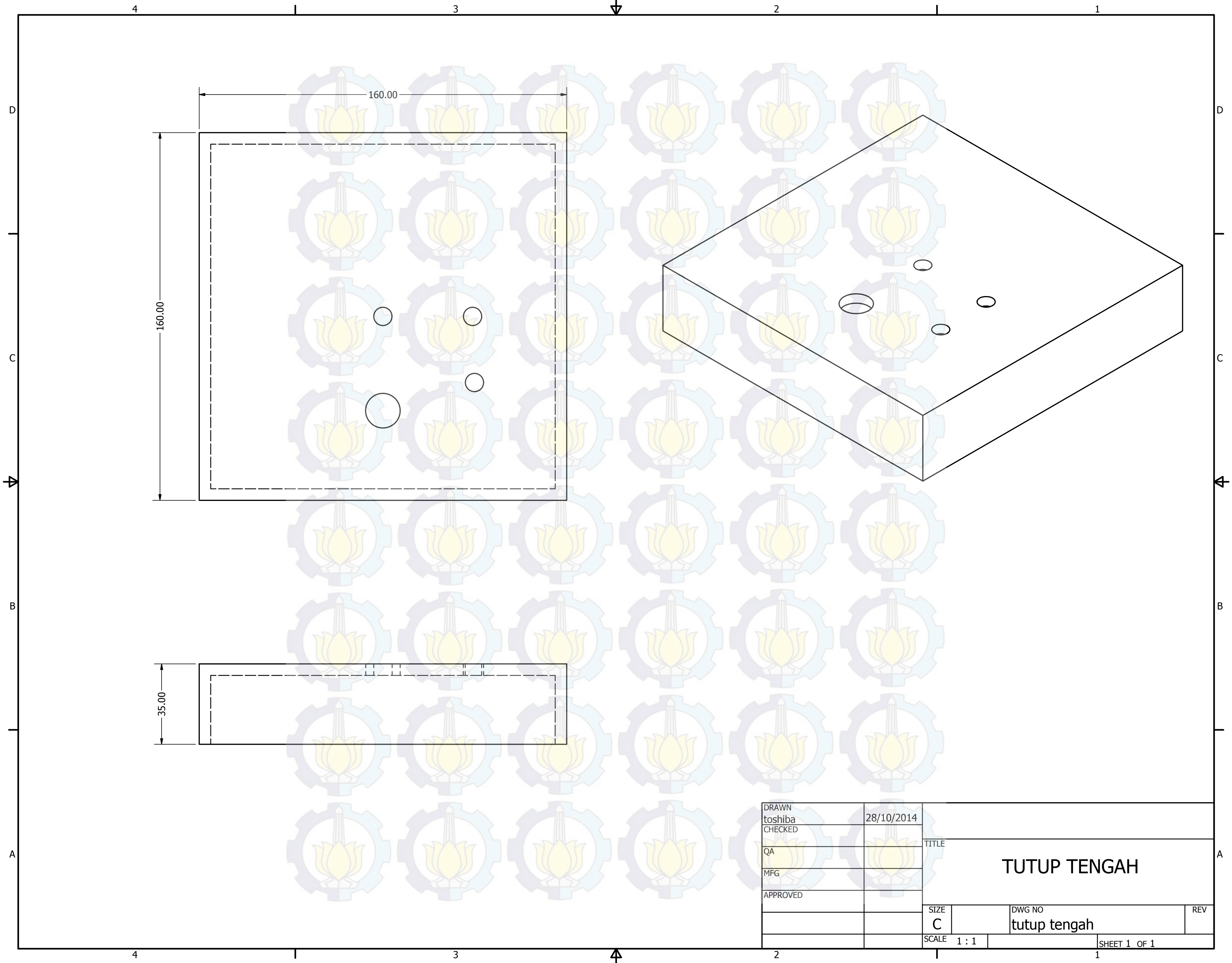
[Halaman ini sengaja dikosongkan]



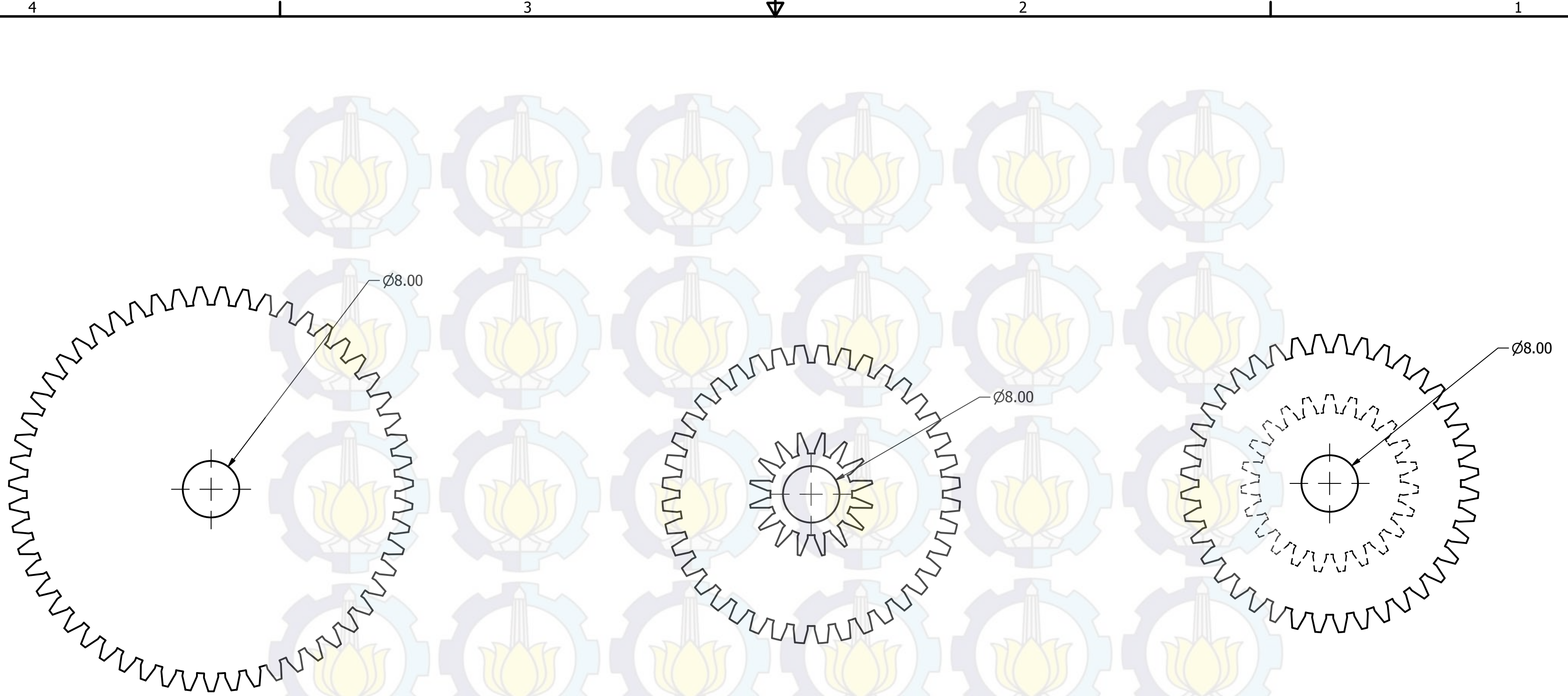
DRAWN toshiba	28/10/2014	TITLE PONTON BAWAH		
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED		SIZE C	DWG NO ponton bawah rev2	REV
		SCALE 1 : 2	SHEET 1 OF 1	



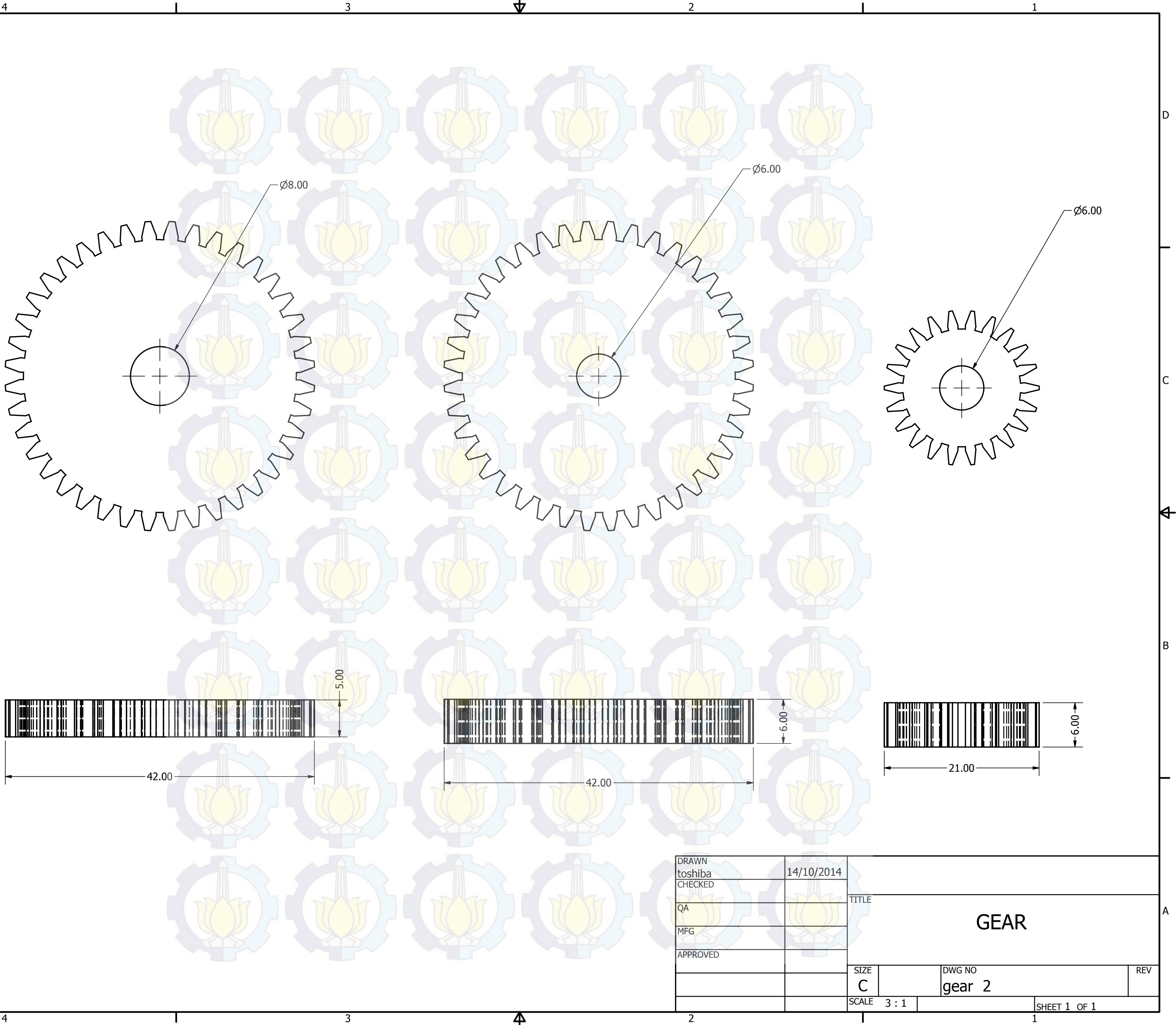
DRAWN toshiba	28/10/2014	TITLE PONTON		
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED		SIZE C	DWG NO tutup atas	REV
		SCALE 1 : 2	SHEET 1 OF 1	

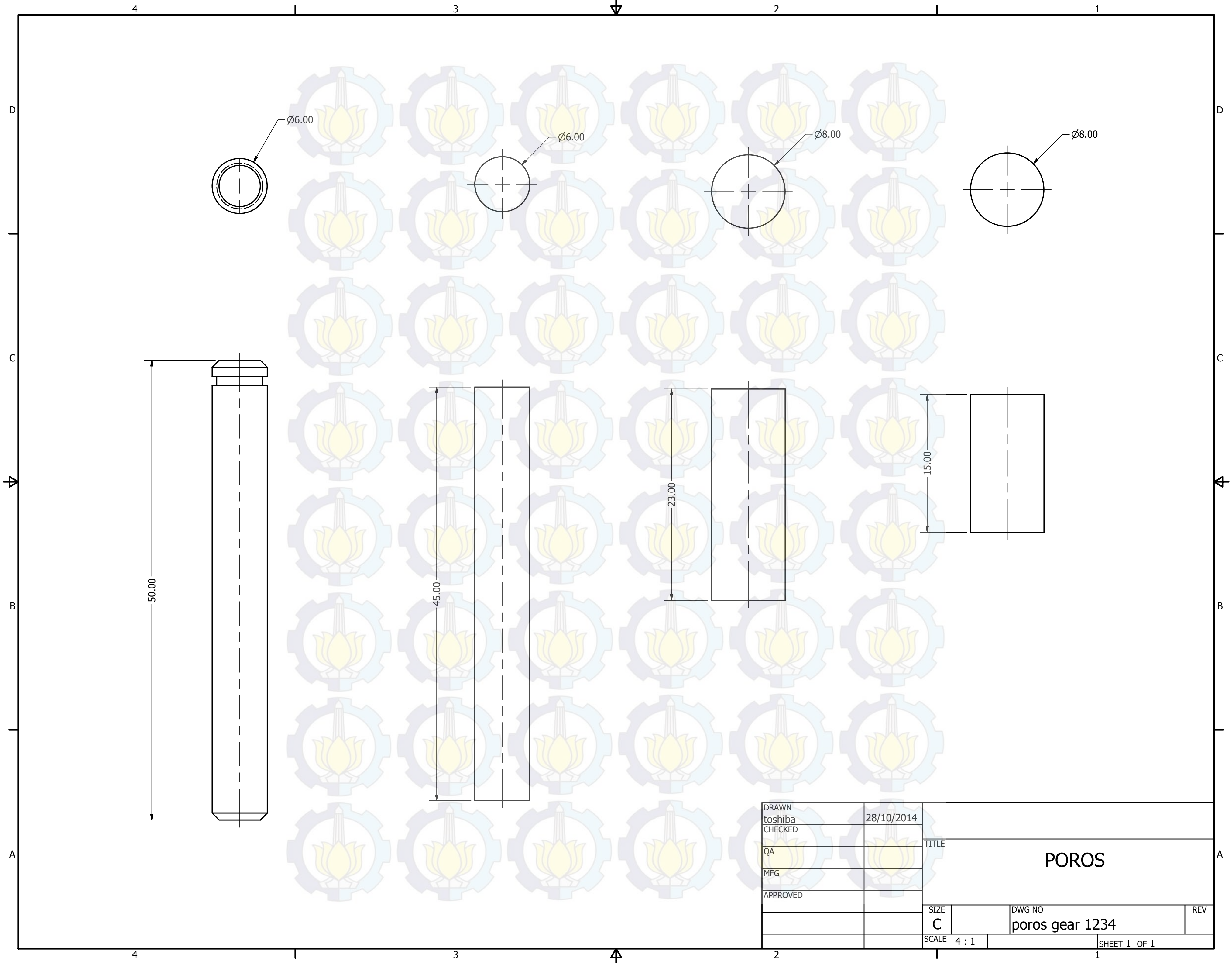


DRAWN toshiba	28/10/2014	TITLE TUTUP TENGAH		
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED		SIZE C	DWG NO tutup tengah	REV
		SCALE 1 : 1	SHEET 1 OF 1	

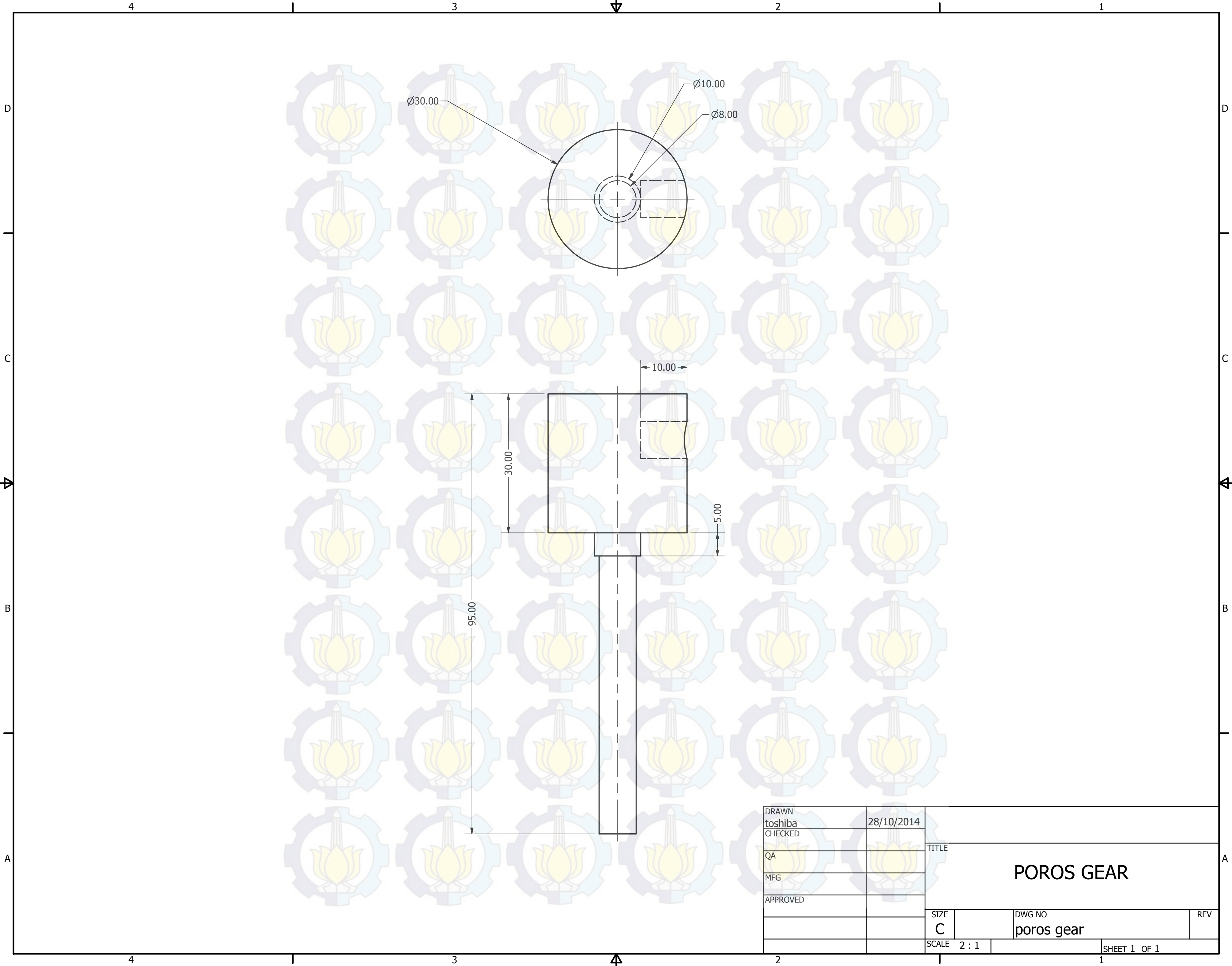


DRAWN					
toshiba	14/10/2014				
CHECKED					
QA		TITLE GEAR			
MFG					
APPROVED					
		SIZE		DWG NO	REV
		C		gear 1	
		SCALE	2 : 1		SHEET 1 OF 1

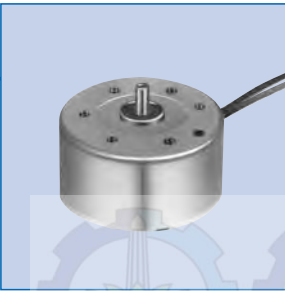




DRAWN	toshiba	28/10/2014	TITLE POROS		
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED			SIZE C	DWG NO poros gear 1234	REV
			SCALE 4 : 1	SHEET 1 OF 1	



DRAWN toshiba	28/10/2014	TITLE POROS GEAR		
CHECKED				
QA		SIZE C		
MFG				
APPROVED		DWG NO poros gear		REV
		SCALE 2 : 1	SHEET 1 OF 1	



RF-300FA (TORQUE UP TYPE)

MABUCHI MOTOR
Precious metal-brush motors

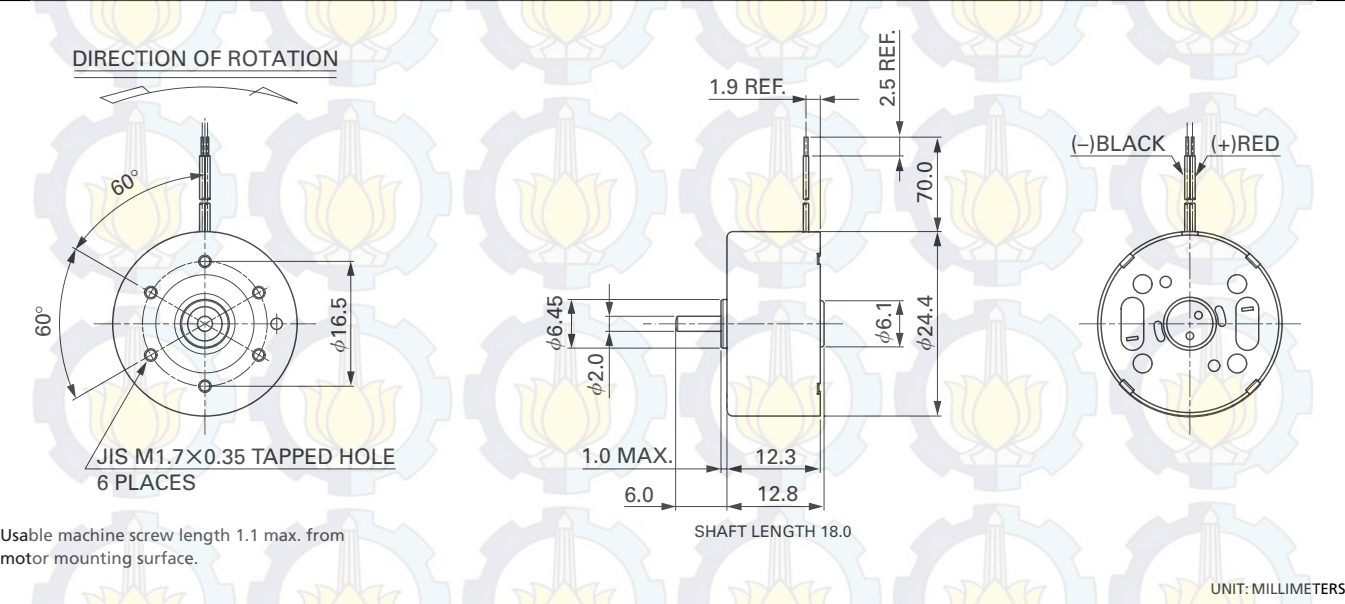
OUTPUT : 0.02W~1.8W (APPROX)

WEIGHT : 22g (APPROX)

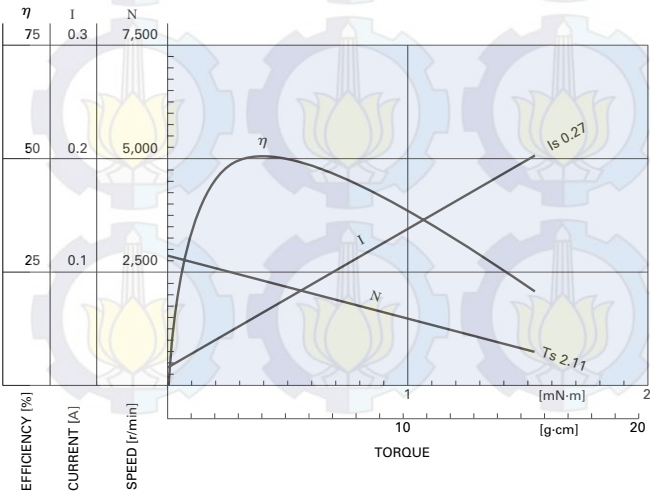
Typical Applications Office Automation Equipment : CD/DVD-ROM Drive

MODEL	VOLTAGE		NO LOAD		AT MAXIMUM EFFICIENCY					STALL		
	OPERATING RANGE	NOMINAL	SPEED	CURRENT	SPEED	CURRENT	TORQUE		OUTPUT	TORQUE		CURRENT
			r/min	A	r/min	A	mN-m	g-cm	W	mN-m	g-cm	A
RF-300FA-11420	1.7~6.0	3V CONSTANT	2900	0.017	2320	0.068	0.42	4.3	0.10	2.11	22	0.27
RF-300FA-12350	1.5~6.0	3V CONSTANT	3500	0.022	2830	0.093	0.48	4.9	0.14	2.51	26	0.39

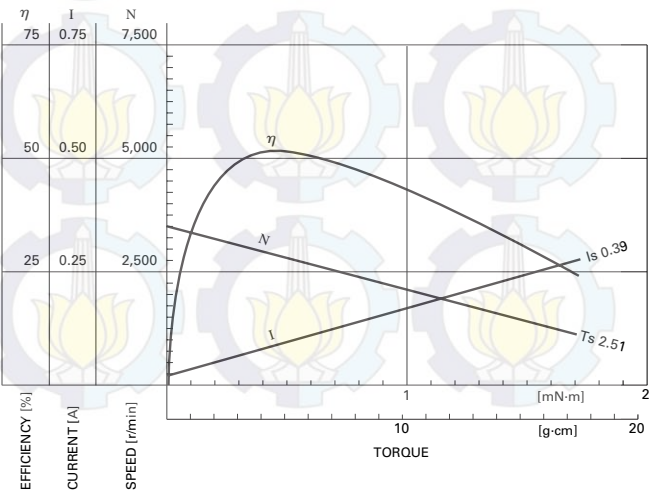
Also available with terminals (without leadwires).



RF-300FA-11420 3.0V



RF-300FA-12350 3.0V



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2010. "World Energy Council". **International Ocean Energy Workshop**. Grand Palace Hotel, Surabaya, 17 Desember.
- C. B,Barras and D.R., Derret. 2001 *Ship Stability for Masters And Mates*. Stanford Maritime, Tottenham.
- Dristy Joudha, Reza. 2014. *Rancang Bangun Mekanisme Ocean Wave Energy Harvesting Dengan Metode Ponton dan Single Pendulum*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Prof. Dr. Mukhtasor. 2013. "Ocean Energy Policy and Development in Indonesia". **International Ocean Energy Workshop**. Grand Palace Hotel, Surabaya, 17 Desember.
- Risti Nirmalasari, Putu. 2014. *Studi Eksperimen dan Analisa Energi Listrik Yang Dihasilkan Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Dengan Metode Ponton dan Single Pendulum*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Anonim, 17 Februari 2014. **Pelayaran Sungai dan Danau / Dasar – Dasar Kapal,** <URL: http://id.wikibooks.org/wiki/Pelayaran_Sungai_dan_Danau/Dasar-dasar_Kapal>.
- Balitbang Ketenagalistrikan PLN dan LPPM ITS, 2010. **Studi Pemodelan dan Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut - Sistem Bandulan (PLTGL - SB),** <URL:http://aseli.co/index.php?option=com_content&view=article&id=70:art-pltg-sb&catid=40:cat-article&Itemid=53>.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



RIWAYAT HIDUP



Hendrawan Agung Primadani dilahirkan di Banyumas pada tanggal 14 Juni 1991. Penulis merupakan putra kedua dari empat bersaudara pasangan Puspo Saptono dan Retnowati.

Penulis memulai pendidikan dasar di SDN 3 Panerusan Kulon dan lulus pada tahun 2003, lalu melanjutkan studi ke SMPN 1 Susukan dan lulus pada tahun 2006, kemudian penulis melanjutkan studi ke SMK YPT Purbalingga 1 dan lulus pada tahun 2009. Setelah masa studi SMK selesai, penulis melanjutkan studi program Diploma ke Universitas Gadjah Mada Yogyakarta jurusan Teknik Mesin dan lulus pada tahun 2012. Pada tahun 2012 penulis melanjutkan program sarjana di jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan mengambil bidang studi Desain. Keinginan untuk selalu belajar dan mengamalkan ilmu yang didapat selama kuliah mendorong penulis untuk mengambil Tugas Akhir dengan judul “(Desain Ulang) Model Mekanisme PLTGL Dengan Metode Ponton Single Pendulum dan Analisa Energi yang Dihasilkan”. Penulis memiliki harapan agar ilmu yang telah didapatkan dapat berguna untuk agama dan negara. Penulis dapat dihubungi melalui email dibawah ini:

hagungprimadani@gmail.com